## Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas

# CONTROLADOR DE TEMPERATURA

**Álvaro Antunes Bezerra**

Itatiba – São Paulo – Brasil

Novembro de 2004

## Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas

# CONTROLADOR DE TEMPERATURA

**Álvaro Antunes Bezerra**

**Monografia** apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas da Universidade São Francisco, sob a orientação do Prof. Ms. Luiz Carlos de Freitas Júnior, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

**Orientador**: Prof. Ms. Luiz Carlos de Freitas Júnior

Itatiba – São Paulo – Brasil

Novembro de 2004

# Controlador de Temperatura

**Álvaro Antunes Bezerra**

Monografia defendida e aprovada em 27 de Novembro de 2004 pela **Banca Examinadora** assim constituída:

---

**Prof Ms Luiz Carlos de Freitas Júnior (Orientador)**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

---

**Prof Ms Cíntia Kimie Aihara**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

---

**Prof Ms Antônio de Assis Bento Ribeiro**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

---

**Ms Luiz Cláudio Marangoni de Oliveira (Pesquisador)**

Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas – Campinas – SP.

*É melhor tentar e falhar,*
*que preocupar-se e ver a vida passar;*
*é melhor tentar, ainda que em vão,*
*que sentar-se fazendo nada até o final.*
*Eu prefiro na chuva caminhar,*
*que em dias tristes em casa me esconder.*
*Prefiro ser feliz, embora louco,*
*que em conformidade viver ...*

(Martin Luther King)

*À minha mãe, Fátima Voltarelli, por ter me dado a oportunidade de hoje estar aqui concluindo a primeira etapa da minha vida acadêmica*

*À minha namorada Sara, por seu amor que muitas vezes não fui capaz de corresponder a altura, por ter estado sempre ao meu lado, ensinado-me a crescer como "pessoa" que hoje sou, TE AMO.*

*Ao meu pai, Alcides Bezerra, que ensinou-me muitas coisas valiosas da vida.*

*Aos meus avós, Pedro e Teresa, que sempre acreditaram e me incentivaram.*

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Professor Luiz Carlos de Freitas Júnior, meu orientador, que acreditou em mim e incentivou-me para a conclusão deste trabalho, face aos inúmeros percalços do trajeto.

Alguns experimentos e vários "entendimentos" não teriam sido possíveis sem a colaboração de Carlos Pereira de Lacerda.

Eu agradeço fraternalmente a todos.

# Sumário

BEZERRA, Álvaro Antunes. **Controlador de Temperatura**. 2004. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Mecânica – Automação e Sistemas da Universidade São Francisco, Campus de Itatiba.

## Resumo

Esta monografia apresenta o projeto de um controlador de temperatura usando, como unidade de controle, o microcontrolador PIC 16F870 da Microchip®. O Projeto do controlador foi baseado em um sensor de temperatura ambiente desenvolvido e comercializado pela Montrel Controles Eletrônicos LTDA, situada em Mogi Guaçu – SP, local de trabalho do autor. Contudo, o projeto aqui apresentado se distingue daquele da Montrel, principalmente, pela função de controle. Todas as etapas do projeto serão apresentadas, desde os fundamentos teóricos em que nos baseamos até o layout da placa do circuito, passando pela programação em *assembly* do microcontrolador PIC.

PALAVRAS-CHAVE: microcontrolador PIC, controle de temperatura, sensores de temperatura.

## Abstract

This monograph shows the design of a temperature controller using, like as control unity, the PIC 16F870 microcontroller by Microchip™.the design of the controller was based in a environment temperature sensor developed and commercialized by *Montrel Controles Eletrônicos* LTDA, at Mogi Guaçu – SP, where the author works. However, the project shown here is differs from that one of Montrel, mainly, for the control function. Each step of the project will be shown, from the theoretic concepts in which based us, to the layout of the printed circuit board, passing trough the programming, in assembly language, of the PIC.

KEY WORDS: PIC microcontroller, temperature control, temperature sensors.

# 1 INTRODUÇÃO

As primeiras medições de temperatura registradas que  foram realizadas por Galileu (seu termoscópio encontra-se no museu de Florença), a partir de um termoscópio, termômetro cujo princípio físico era a expansão do ar. Na ocasião sua “escala” (segundo seus registros) estava dividida em “graus de calor” [1].

Com o início da 1ª Revolução Industrial, houve uma transformação nos meios produtivos, marcada pela substituição do trabalho artesanal e muscular do homem por máquinas motrizes. A chamada  mecanização.

Com a automatização da produção, surgiu um ramo da engenharia exclusivamente voltado para projeto, especificação, fabricação, montagem, operação e manutenção de instrumentos a equipamentos envolvidos, diretamente com a medição e controle das variáveis de processo, ou seja, a Engenharia de Instrumentação.

O objetivo maior da monitoração das variáveis e controle em processos industriais é obter produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e segurança, a custos de produção compatíveis com o mercado consumidor.

Nas indústrias em geral, sejam elas químicas, petroquímicas, cerâmicas, farmacêuticas, siderúrgicas, papel a celulose, fibras têxteis, alimentícias, bem como nas usinas hidrelétricas, termoelétricas, nucleares a plantas de tratamento de efluentes industriais, a obtenção do produto final especificado é conseguida pelo controle indireto da composição dos materiais envolvidos. Para tanto, deve-se selecionar as variáveis de processo que influem no produto final.

## 1.1 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um controlador de temperatura, utilizando o microcontrolador PIC como unidade de controle. A escolha desse microcontrolador foi baseada no simples manuseio e programação do mesmo e pela

popularização do seu uso. Além disso, podemos acrescentar o fato do mesmo ser de baixo custo como poderá ser visto no descritivo do projeto aqui apresentado.

## 1.2 Organização do trabalho

No capítulo 2, foi feito um estudo sobre sensores, explicando sua função, as operações de calibração e aferição e o processo de escolha do sensor de temperatura.

No capítulo 3, falamos sobre os sistemas de controle e nos concentramos no controle ON-OFF que foi, efetivamente, utilizado no projeto do nosso controlador.

No capítulo 4, o tema desenvolvido foi do Amplificador Operacional. Falamos, principalmente, sobre o amplificador não-inversor presente no estágio de amplificação da saída do LM35.

No capítulo 5, apresentamos um breve comentário sobre linguagens de programação, tendo em vista, que necessitaríamos de programar o microcontrolador PIC.

No capítulo 6, mostramos um pequeno histórico do PIC e sua estrutura interna através de um diagrama de blocos. Falamos ainda, sobre o MPLAB que é pacote computacional envolvido na programação do microcontrolador.

No capítulo 7, tratamos de apresentar os estágios do circuito do controlador de temperatura, tecendo comentários sobre componentes mais dedicados presentes no projeto.

No capítulo 8, esta o desenho da placa de circuito impresso em escala 1:1.

No capítulo 9, falamos dos resultados obtidos utilizando o Labview.

No capítulo 10 falamos sobre nossas conclusões a respeito do trabalho realizado.

# 2 SENSORES

Neste capítulo abordaremos  a função dos sensores de temperatura e explicar-mos, de forma sucinta, os processos de calibração e aferição dos mesmos bem como os critérios de escolha do sensor de temperatura LM 35 da National Semiconductor.

## 2.1 Introdução

Sensores são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma forma de energia em outra, são chamados transdutores.

Os sensores de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle, e nos instrumentos de medição, que freqüentemente estão associados aos sistemas de controle de malha aberta (não automáticos), orientando o usuário.

Uma das propriedades mais importantes dos sensores é sua linearidade, que é o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Quanto maior, mais fiel é a resposta do sensor ao estímulo. Os sensores mais usados são os mais lineares, conferindo mais precisão ao sistema de controle. Os sensores não lineares são usados em faixas limitadas, em que os desvios são aceitáveis, ou com adaptadores especiais, que corrigem o sinal. Outra característica é sua faixa de atuação, ou seja, o intervalo de valores da grandeza em que pode ser usado o sensor, sem destruição ou imprecisão.

## 2.2 Sensores de Temperatura

O sensor de temperatura é o elemento chave de uma malha de medição ou controle. A maioria das ações tomadas em um processo baseia-se nas informações fornecidas por ele. Da confiabilidade dessa informação e do controlador, depende a precisão do controle do processo.

O controle de temperatura é necessário em processos industriais ou comerciais, tais como a refrigeração de alimentos e compostos químicos, fornos de fusão (produção de metais e ligas), produção de bebidas e derivados de petróleo, usinas nucleares, aquecedores, fornos e refrigeradores domésticos e industriais, ou seja, uma infinidade de aplicações.

## 2.3 Calibração e Aferição

Todos os sensores de temperatura são fabricados e fornecidos com limites de erro permissíveis, denominada faixa de tolerância. Quando se faz necessário verificar se um sensor de temperatura apresenta valores dentro da sua faixa de tolerância, ou ainda quando é importante reduzir a incerteza de medição do sensor, preocupação que ocorre em casos especiais, existem dois procedimentos que podem ser realizados [2]:

- Aferir o sensor de temperatura: Consiste no levantamento da curva de resposta do sensor para verificar se a mesma está dentro dos limites de tolerância fornecidos pelo fabricante.
- Calibrar o sensor de temperatura: Consiste no levantamento da curva de resposta do sensor. Este procedimento é usualmente feito quando se deseja ter um sensor de temperatura que irá ser um padrão de temperatura ou quando se necessita de uma medição com precisão melhor do que a fornecida pelo fabricante.

Abaixo são apresentados dois tipos de calibração:

**Calibração Primária**: Consiste na medição dos valores das grandezas termométricas do sensor de temperatura utilizando-se os pontos fixos de temperatura que constam na Escala Internacional de Temperatura de 1990, ÍTS-90, cujos valores de temperatura são conhecidos previamente. Esta calibração somente é feita para sensores que serão padrões primários de temperatura.

**Calibração Secundária**: Consiste na medição da grandeza termométrica do sensor de temperatura onde o valor da temperatura é dado utilizando-se um padrão primário de temperatura, ambos imersos num meio termostático homogêneo. Os sensores submetidos a uma calibração secundária são denominados padrões secundários de temperatura. Este procedimento é o mais utilizado quando se quer a calibração de um sensor de temperatura. A calibração secundária é uma comparação, uma vez que o valor da temperatura é dado por um outro sensor de temperatura e não por um ponto fixo da ITS-90.

Se numa calibração por comparação utiliza-se como padrão de referência um padrão de temperatura secundário, a calibração é dita terciária e o sensor de temperatura, um padrão terciário de temperatura, e assim sucessivamente. È importante ressaltar que uma calibração primária é mais precisa do que uma secundária e uma calibração secundária mais precisa do que uma terciária.

## 2.4 A Escolha do Sensor

Existem circuitos integrados destinados a ser sensores de temperatura, como o LM 35 da *National Semiconductor* que oferecem alta precisão, possibilitando não fazer qualquer ajuste no sinal de saída do mesmo. Esta precisão se deve ao fato de utilizar intrinsecamente em sua construção circuitos linearizados. Sua faixa de operação está entre -55ºC a 155ºC aproximadamente. Estes sensores além de possuir tamanhos muito reduzidos são extremamente lineares com fator de escala de 10mV /ºC. Sendo assim a escolha do sensor se baseou nos seguintes critérios: linearidade, faixa de funcionamento e disponibilidade do sensor no mercado.

A figura **2.1** mostra uma foto do LM 35 e traz alguns dados técnicos do *datasheet* do componente.

| technical specification | | |
|---|---|---|
| Type | LM35CZ | LM35DZ |
| Temperature range | -40 to +110°C | 0 to +100°C |
| Accuracy @ 25°C | ±0·4°C (typ) | ±0·9°C (typ) |
| Operating voltage | +30V to +4V | |
| Absolute max. voltage | +35V -0·2V | |
| Quiescent current @ 5V | | 91µA (typ) |

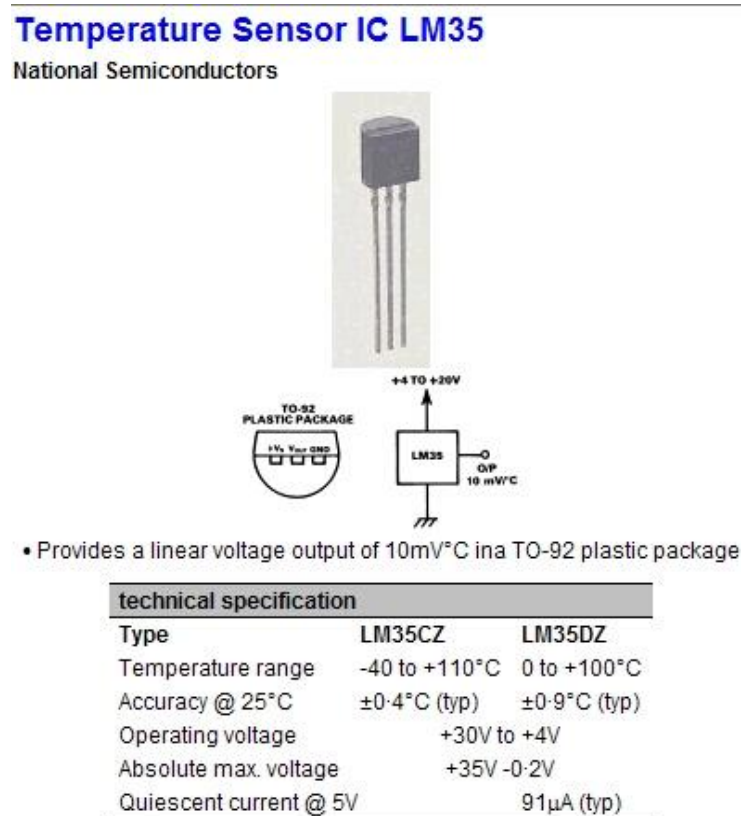



**Figura 2.1 – Sensor de Temperatura CI LM 35 da *National Semiconductors*.**

# 3 SISTEMAS DE CONTROLE

Esse capítulo traz uma sucinta explanação sobre os sistemas de controle. Nos concentramos no controle Liga-Desliga que é, especificamente, o tipo de controle utilizado no nosso projeto.

## 3.1 Definição de Sistema de Controle

Um Sistema de Controle é um conjunto de dispositivos que mantém uma ou mais grandezas físicas dentro de condições definidas na sua entrada. Os dispositivos que o compõe podem ser e tétricos, mecânicos, ópticos e até seres humanos [3].

As grandezas físicas controladas são varias, as mais comuns são temperatura, pressão, vazão, nível de liquidos ou sólidos, velocidade, freqüência, posição linear ou angular, tensão, corrente e luminosidade.

A entrada do sistema pode ser o ajuste feito nos botões no painel do controlador, nos sistemas de controle analógicos, ou através de um programa, nos sistemas de controle digitais com microprocessador.

Quanto à estrutura, um sistema de controle pode ser de malha aberta, no qual a entrada define o comportamento do controlador, cérebro do sistema, e este responde agindo no ambiente, sem verificar depois se o nível da grandeza física corresponde de fato à entrada, não há sensor para observar algum eventual desvio, nem realimentação para corrigi-lo.

Os sistemas de malha fechada verificam a ocorrência de desvios, pois contém um sensor, que monitora a saída, fornecendo um sinal que retorna à entrada, formando uma malha de realimentação. A entrada e esta realimentação se juntam num comparador, que combina ambos e fornece um sinal de erro. Diferença entre os sinais orienta o controlador. Os sistemas de controle em malha fechada são mais precisos, pois detectam e corrigem os desvios. A maioria dos sistemas atuais, analógicos ou digitais, é deste tipo.

Os sistemas de controle também se dividem em analógicos e digitais, conforme os sinais manipulados pelo controlador. Veja que as grandezas físicas são sempre analógicas, variando desde um valor mínimo a um máximo continuamente. Nos sistemas analógicos,

todos os sinais são analógicos, e o controle é feito em tempo integral. O sistema de controle é mais simples e em geral, mais econômico. Suas desvantagens são a pouca flexibilidade, pois só se pode alterar alguns parâmetros, não o tipo de ação de controle, a menos que se altere o controlador.

Os sistemas de controle digitais são mais complexos, pois requerem sempre uma interface de entrada, ou seja, um conversor analógico-digital, que converte os sinais de forma a serem entendidos pelo controlador, e uma interface de saída, ou seja, um conversor digital analógico, adaptando a saída do controlador. Esta interface de saída nem sempre é necessária, já que muitos atuadores, são digitais.

Estes sistemas diferenciam-se por atuarem por amostragem, de tempos em tempos o controlador atua de acordo com o programa de controle, formando ciclos, entre os quais o sistema não reage. Seu custo mais elevado é contrabalançado pela grande flexibilidade, basta alterar o programa para mudar o tipo de ação de controle e seus parâmetros.

As partes dos sistemas de controle costumam ser representadas graficamente através de diagramas de blocos. Estes são símbolos que mostram o relacionamento entre as partes e o fluxo dos sinais.

Nos sistemas em malha aberta a entrada é o nível desejado da grandeza controlada. O controlador avalia este sinal e envia um sinal que pode ser elétrico ou mecânico, ao atuador, que é o elemento que age no ambiente de modo a alterar a grandeza. A figura 3.1 nos mostra o diagrama de blocos de um sistema típico de controle em malha aberta.

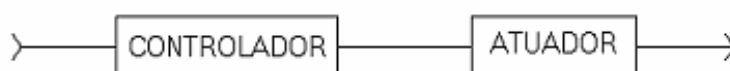



**Figura 3.1 – Diagrama de blocos de um sistema em malha aberta.**

Um sistema elementar de controle de velocidade de um motor C.C., compõe-se de um reostato (resistor ajustável de potência) em série com o enrolamento de campo do motor. Um operador faz o papel de controlador e ajusta pela sua experiência, o reostato, variando a

velocidade do motor, que é o atuador, o sistema não é auto regulado, e a velocidade poderá mudar conforme a carga, isto é, o esforço mecânico na saída.

Agora se além dos blocos que compunham o sistema de controle em malha aberta, adicionarmos um sensor, que reage à grandeza física enviando um sinal ao bloco somador, que subtrai este sinal ao de entrada (observe os sinais - e - nas entradas), fornecendo um sinal de erro ao controlador teremos um sistema de malha fechada. Este sinal é a entrada do controlador, que o avalia e tenta corrigir o desvio captado pelo sensor, através de um novo comando ao atuador. A figura 3.2 abaixo reflete o diagrama de blocos de um sistema de controle de malha fechada.

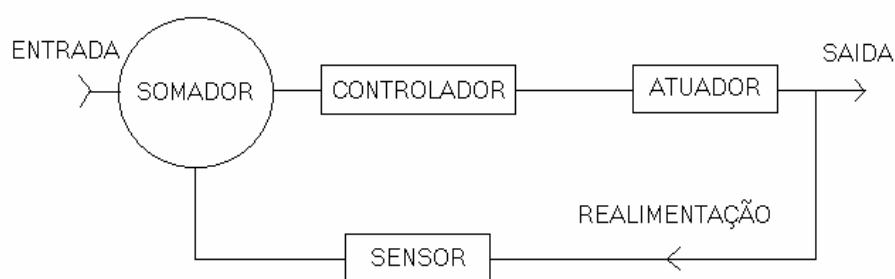



**Figura 3.2 - Diagrama de bloco de um sistema de controle de malha fechada.**

Observa-se que a precisão do sistema de controle de malha fechada depende tanto do controlador e atuador, como ocorre no sistema de malha aberta, quanto do sensor, que tem de ser o mais linear possível. A forma de controle utilizado é o controle liga-desliga.

## 3.2 Controle Liga-desliga (ou *ON-OFF*)

Nessa classe de controle, o controlador compara o sinal de entrada com a realimentação, e se a saída supera a entrada, desliga o atuador, se a realimentação for menor, liga o atuador [3].

Podemos citar como exemplo as geladeiras onde o compressor é controlado por um termostato, que é um controlador liga-desliga com par bimetálico, quando a temperatura fica abaixo de um certo valor onde um dos metais se dilata mais que o outro, vergando-se e abrindo o contato e fazendo com que se desligue o compressor. Ao se desligar o compressor, o ambiente faz a temperatura mudar, algum tempo depois o bimetálico retorna à posição, fechando o contato e ligando o compressor novamente.

As vantagens deste controlador são a simplicidade e o baixo custo, as desvantagens são a continua oscilação da saída entre os limites de atuação do controlador conhecida como histerese. Esta oscilação não garante a precisão e pode desgastar o controlador e o atuador pelo excesso de partidas.

Neste tipo de ação o controlador é modelado, geralmente, por um relé e pode ser representado pelo diagrama de blocos mostrado na figura 3.3..

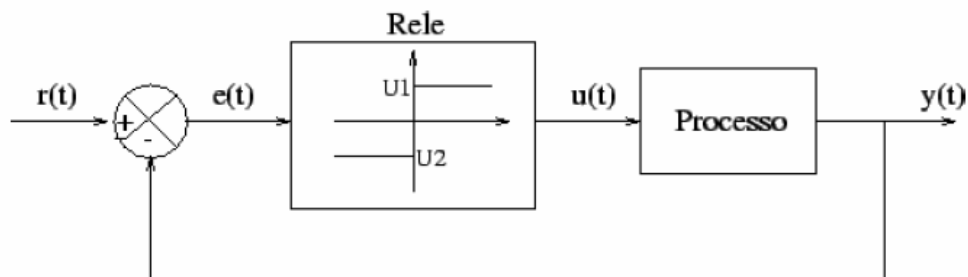



**Figura 3.3 – Diagrama de blocos de um típico controlador ON-OFF.**

O sinal de controle *u(t)* pode assumir apenas dois valores, conforme o erro seja positivo ou negativo. Em outras palavras tem-se:

$$u(t) = \begin{cases} U_1 & se\, e(t) > 0 \\ U_2 & se\, e(t) < 0 \end{cases} \tag{3.1}$$

Este tipo de função pode ser implementada como um simples comparador ou mesmo um relé físico. Note que neste caso teríamos uma inconsistência em zero e, na presença de ruídos, teríamos chaveamentos espúrios quando o sinal *e(t)* for próximo de zero.

Para evitar este tipo de problema, utiliza-se na prática o que chamamos de *controlador liga-desliga com histerese*.

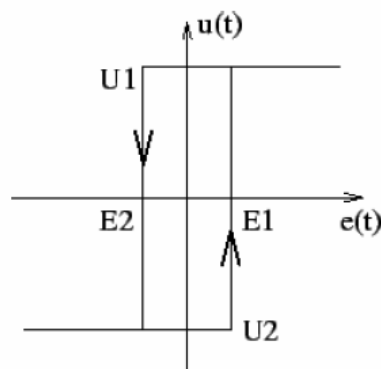



**Figura 3.4 – Curva de Histerese.**

Com este tipo de controlador temos o seguinte comportamento, que é apresentado na figura 3.4 :

- Se $u(t) = U_1$, é necessário que o valor de $e(t)$ desça abaixo de $-E_2(t)$ para que haja um chaveamento para $U_2$.
- Se $u(t) = U_2$, é necessário que o valor de $e(t)$ ultrapasse o valor de $E_1$ para que haja um chaveamento para $U_1$.

A figura 3.5 mostra a curva de resposta em malha fechada e o respectivo sinal de controle para um sistema com controlador liga-desliga com histerese. Note que, em regime permanente, a saída do sistema apresenta uma oscilação em torno do valor da referência. Este fato denota a baixa precisão obtida com este tipo de controlador. A amplitude e a freqüência da oscilação são funções do intervalo $[E_1, E_2]$. A determinação do intervalo $[E_1, E_2]$deve ser feita levando-se em consideração a precisão desejada, os níveis de ruído e a vida útil dos componentes.

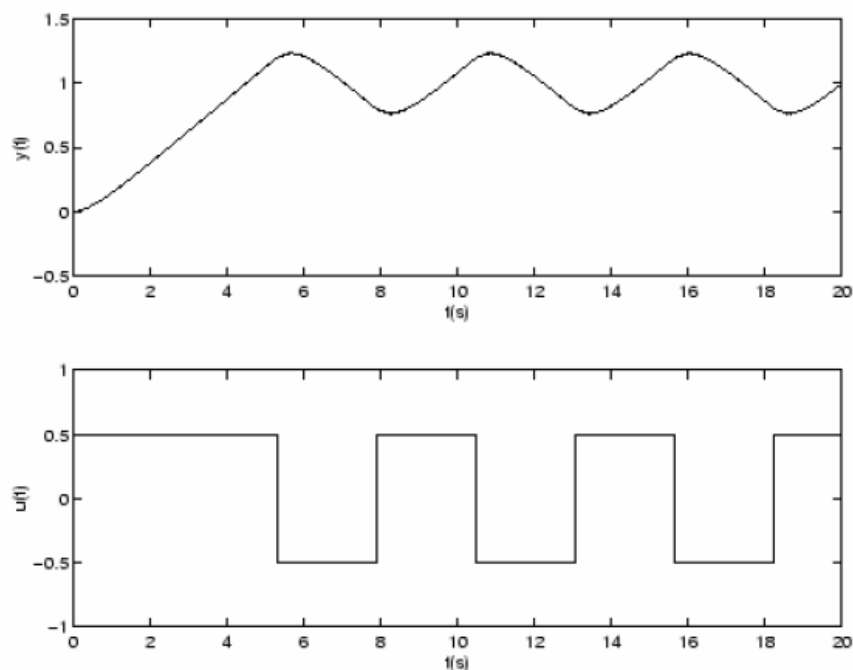



**Figura 3.5 – Controle ON-OFF.**

A ação de controle liga-desliga pode assim ser considerada a ação de controle mais simples e mais econômica. Entretanto, este tipo de ação possui limitações no que diz respeito ao comportamento dinâmico e em regime permanente do sistema em malha fechada. Suas aplicações restringem-se a sistemas onde não é necessário precisão nem um bom desempenho dinâmico. Como exemplos corriqueiros de aplicação deste tipo de controle temos: termostato da geladeira, controle de nível da água a partir de bóias.

# 4 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Este capítulo apresenta alguns dos principais conceitos dos amplificadores operacionais. No nosso projeto o AmpOp aparece como elemento fundamental no tratamento (amplificação) do sinal de saída do LM 35, já que esse sinal necessita de um ganho para atingir os valores de tensão necessários pelo conversor A/D, interno do PIC.

## 4.1 Introdução

Um amplificador operacional (abreviadamente AmpOp ou OpAmp) é basicamente um dispositivo amplificador de tensão, caracterizado por um elevado ganho em tensão, impedância de entrada elevada, impedância de saída baixa e elevada largura de banda. Estes dispositivos são normalmente dotados de uma malha de realimentação para controle do ganho e são geralmente associados a outros semelhantes, em estruturas de múltiplos estágios e com funções que transcendem a simples amplificação[4].

O AmpOp é um dispositivo de duas portas, ou seja, possui dois terminais de entrada e um terminal de saída que é referenciado à massa. O seu símbolo elétrico, apresentado na figura 4.1 , é um triângulo que aponta no sentido do sinal. Das duas entradas, uma, assinalada com o sinal (-) é chamada de entrada inversora e a outra, a que corresponde o sinal (+) é chamada entrada não-inversora. A saída faz-se no terminal que se encontra referenciado ao terra. O amplificador é normalmente alimentado com tensões simétricas, da ordem de ±10 V , que são aplicadas aos respectivos terminais de alimentação V- e V+. Note-se que nos esquemas elétricos freqüentemente estes terminais são omitidos, representando-se apenas as entradas e a saída.

O amplificador operacional é um amplificador diferencial, ou seja, amplifica a diferença entre as tensões presentes as suas entradas. Inicialmente os amplificadores operacionais foram utilizados para realizar operações matemáticas.

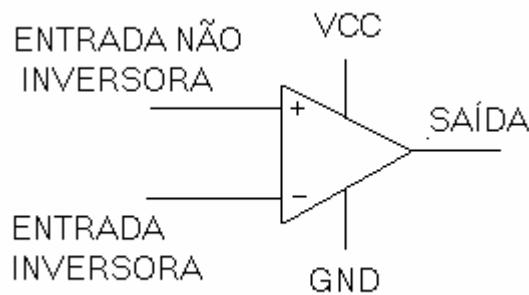



**Figura 4.1 – Símbolo esquemático elétrico de um Amplificador Operacional.**

## 4.2 Amplificador Não-Inversor

Este circuito tem a configuração como mostrada na figura 4.2 . Observa-se como o sinal de entrada (excitação) é aplicado à entrada não inversora (terminal +). Como resultado a tensão de sinal se encontrará em fase com o sinal de excitação. Ou seja, o sinal de saída terá a mesma polaridade do sinal de entrada. Neste projeto o sinal de entrada do amplificador é aquele que vem da saída do LM 35 e, por sua vez, o sinal de saída do AmpOp é o que serve de entrada para o PIC.

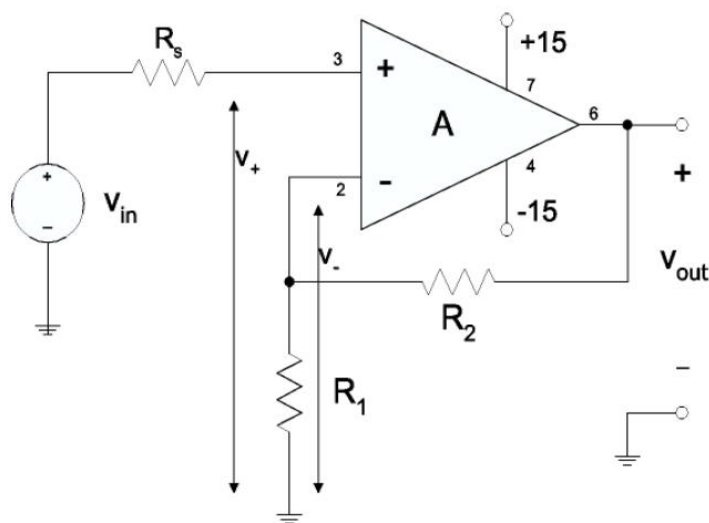



**Figura 4.2 – Circuito amplificador não-inversor.**

Seja $R_S = 0$, então $v_+ = v_{in}$. Só que $v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_{out}$, e como pelo efeito do curto virtual [5] $v_+ = v_-$, temos que $v_{in} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_{out}$. Tornemos explícita a relação $\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ ou

$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ que é denominada ganho de tensão de malha fechada (através de $R_2$ que liga a saída à entrada inversora) do amplificador não-inversor [6].

Para esse projeto necessitaremos de um $A_v$ de aproximadamente 5. Estabelecemos o valor do $R_1$ em 1 KΩ e chegamos ao valor do $R_2$ = 4 KΩ.

Utilizamos este ganho de 5 para utilizarmos toda a faixa da entrada analógica do microcontrolador.

No final do trabalho, no apêndice B, estão disponíveis os resultados de simulação do estágio de amplificação usando o AmpOp em circuito integrado – CI - LM358.

# 5 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Neste capítulo, iremos tratar, de forma muito breve, sobre a linguagem assembly que foi utilizada como forma de instruir o PIC para realizar as tarefas destinadas a ele.

## 5.1 Introdução

Um programa de computador é um conjunto de instruções que representam um algoritmo para a resolução de algum problema, Estas instruções são escritas através de um conjunto de códigos (símbolos e palavras) [7]. Este conjunto de códigos possui regras de estruturação lógica e sintética própria. Dizemos que este conjunto de símbolos e regras formam uma linguagem de programação. Podemos dizer que linguagem de programação nada mais é do que uma notação formal para descrever a execução de algoritmos em computadores. Existem muitas linguagens de programação. Podemos escrever um algoritmo para resolução de um problema por intermédio de qualquer linguagem.

## 5.2 Níveis de Linguagem

Podemos dividir, genericamente, as linguagens de programação em três grupos: as linguagens de máquina, as linguagens de baixo nível e as linguagens de alto nível [7]. A linguagem de máquina é aquela que o computador entende e usa somente os números l e 0.

Linguagens de baixo nível são linguagens voltadas para a máquina, isto é, a mais próxima da linguagem de máquina, seus códigos são abreviados e, portanto, difíceis de se interpretar. São escritas usando as instruções do microprocessador do computador. São genericamente chamadas de linguagens *Assembly*. Esta linguagem têm como vantagens, uma maior velocidade de processamento na execução dos programas e a minimizarão do espaço ocupado da memória pelo mesmo. Entretanto, geralmente um programa em Assembly tem pouca portabilidade, isto é, um código gerado para um tipo de processador não serve para outro. Códigos Assembly não são estruturados, tornando a programação mais difícil.

As linguagens de alto nível são linguagens voltadas para o ser humano. Em geral utilizam sintaxe estruturada tornando seu código mais legível. Necessitam de compiladores ou interpretadores para gerar instruções ao microprocessador. Interpretadores fazem a interpretação de cada instrução do programa fonte executando-a dentro de um ambiente de programação. Compiladores fazem a tradução de todas as instruções do programa fonte gerando um programa executável. Estes programas executáveis (*.exe) podem ser executados fora dos ambientes de programação. Em conseguinte este tipo de linguagem possui vantagens em relação às linguagens de baixo nível. Por serem compiladas ou interpretadas, as linguagens de alto nível tem maior portabilidade podendo ser executados em varias plataformas com pouquíssimas modificações. Em geral, a programação torna-se mais fácil em conseqüência do maior ou menor grau de estruturação de suas linguagens. No entanto, geralmente as rotinas geradas em linguagem de máquina ou de alto nível são mais genéricas e portanto mais complexas, ocupando assim mais espaço na memória, deixando-as mais lentas.

O assembly, em conclusão é a linguagem que o microcontrolador e o homem usam para comunicar entre si [8]. Os programas escritos em linguagem assembly devem ser traduzidos para uma “linguagem de zeros e uns” de modo a que um microcontrolador a possa receber. O processo em que essa “comunicação”se dá está mostrado na figura 5.1 .

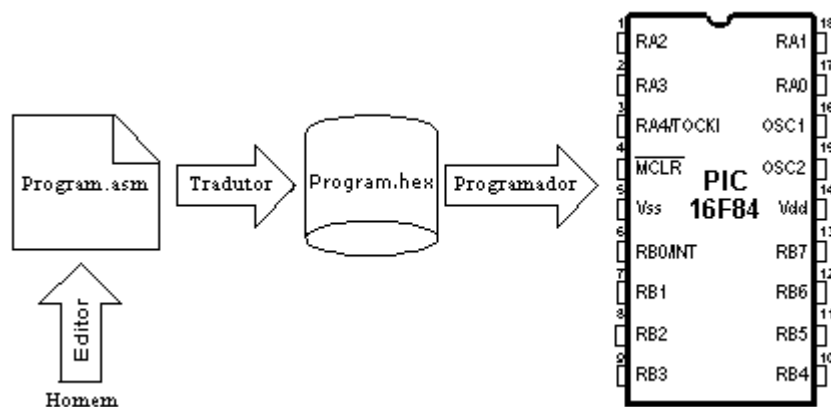



**Figura 5.1 - O processo de comunicação entre o homem e o microcontrolador.**

# 6 O MICROCONTROLADOR PIC

Aqui apresentaremos um histórico e um pouco de história do PIC que, conforme já foi falado nesse trabalho, alcançou um grau altíssimo de popularidade. A programação usada será disponibilizada em anexo.

## 6.1 Introdução

As circunstâncias que se nos deparam hoje no campo dos microcontroladores têm os seus primórdios no desenvolvimento da tecnologia dos circuitos integrados. Este desenvolvimento tornou possível armazenar centenas de milhares de transistores num único chip. Isso constituiu um pré-requisito para a produção de microprocessadores e, os primeiros computadores foram construídos adicionando periféricos externos tais como memória, linhas de entrada e saída, temporizadores e outros. Um crescente aumento do nível de integração, permitiu o aparecimento de circuitos integrados contendo simultaneamente processador e periféricos. Foi assim que o primeiro chip contendo um microcomputador e que mais tarde haveria de ser designado por microcontrolador, apareceu.

## 6.2 História

É no ano de 1969 que uma equipa de engenheiros japoneses pertencentes à companhia BUSICOM chega aos Estados Unidos com a encomenda de alguns circuitos integrados para calculadoras a serem implementados segundo os seus projetos. A proposta foi entregue à INTEL e *Marcian Hoff* foi o responsável pela sua concretização. Como ele tinha tido experiência de trabalho com um computador (PC) PDP8, lembrou-se de apresentar uma solução substancialmente diferente em vez da construção sugerida. Esta solução pressupunha que a função do circuito integrado seria determinada por um programa nele armazenado. Isso significava que a configuração deveria ser mais simples, mas também era preciso muito mais memória que no caso do projeto proposto pelos engenheiros japoneses. Depois de algum tempo, embora os engenheiros japoneses tenham tentado encontrar uma solução mais fácil, a idéia de Marcian venceu e o primeiro microprocessador nasceu. Ao transformar esta idéia num produto concreto, Frederico Faggin foi de uma grande utilidade para a INTEL. Ele transferiu-se para a INTEL e, em somente 9 meses, teve sucesso na criação de um produto real a partir da sua primeira concepção. Em 1971, a INTEL adquiriu os direitos sobre a venda

deste bloco integral. Primeiro eles compraram a licença à companhia BUSICOM que não tinha a mínima percepção do tesouro que possuía. Neste mesmo ano, apareceu no mercado um microprocessador designado por 4004. Este foi o primeiro microprocessador de 4 bits e tinha a velocidade de 6 000 operações por segundo. Não muito tempo depois, a companhia Americana CTC pediu à INTEL e à *Texas Instruments* um microprocessador de 8 bits para usar em terminais. Mesmo apesar de a CTC acabar por desistir desta idéia, tanto a Intel como a Texas Instruments continuaram a trabalhar no microprocessador e, em Abril de 1972, os primeiros microprocessadores de 8 bits apareceram no mercado com o nome de 8008. Este podia endereçar 16KB de memória, possuía 45 instruções e tinha a velocidade de 300 000 operações por segundo. Esse microprocessador foi o pioneiro de todos os microprocessadores atuais. A Intel continuou com o desenvolvimento do produto e, em Abril de 1974 pôs cá fora um processador de 8 bits com o nome de 8080 com a capacidade de endereçar 64KB de memória, com 75 instruções e com preços a começarem em $360.

Uma outra companhia Americana, a Motorola, apercebeu-se rapidamente do que estava a acontecer e, assim, pôs no mercado um novo microprocessador de 8 bits, o 6800. O construtor chefe foi Chuck Peddle e além do microprocessador propriamente dito, a Motorola foi a primeira companhia a fabricar outros periféricos como os 6820 e 6850. Nesta altura, muitas companhias já se tinham apercebido da enorme importância dos microprocessadores e começaram a introduzir os seus próprios desenvolvimentos. Chuck Peddle deixa a Motorola para entrar para a MOS *Technolog*y e continua a trabalhar intensivamente no desenvolvimento dos microprocessadores.

Em 1975, na exposição WESCON nos Estados Unidos, ocorreu um acontecimento crítico na história dos microprocessadores. A MOS *Technology* anunciou que ia pôr no mercado microprocessadores 6501 e 6502 ao preço de $25 cada e que podia satisfazer de imediato todas as encomendas. Isto pareceu tão sensacional que muitos pensaram tratar-se de uma espécie de vigarice, considerando que os competidores vendiam o 8080 e o 6800 a $179 cada. Para responder a este competidor, tanto a Intel como a Motorola baixaram os seus preços por microprocessador para $69,95 logo no primeiro dia da exposição. Rapidamente a Motorola pôs uma ação em tribunal contra a MOS Technology e contra Chuck Peddle por violação dos direitos de autor por copiarem ao copiarem o 6800. A MOS Technology deixou de fabricar o 6501, mas continuou com o 6502. O 6502 é um microprocessador de 8 bits com 56 instruções e uma capacidade de endereçamento de 64KB de memória. Devido ao seu baixo custo, o 6502

torna-se muito popular e, assim, é instalado em computadores como KIM-1, *Apple* I, *Apple* II, *Atari, Comodore, Acorn, Oric, Galeb, Orao,* Ultra e muitos outros. Cedo aparecem vários fabricantes do 6502 (*Rockwell, Sznertek*, GTE, NCR, *Ricoh* e *Comodore* adquiriram a MOS Technology) que, no auge da sua prosperidade, chegou a vender microprocessadores à razão de 15 milhões por ano ! Contudo, os outros não baixaram os braços. Frederico Faggin deixa a Intel e funda a *Zilog* Inc.

Em 1976, a *Zilog* anuncia o Z80. Durante a concepção deste microprocessador, Faggin toma uma decisão crítica. Sabendo que tinha sido já desenvolvida uma enorme quantidade de programas para o 8080, Faggin conclui que muitos vão permanecer fiéis a este microprocessador por causa das grandes despesas que adviriam das alterações a todos estes programas. Assim, ele decide que o novo microprocessador deve ser compatível com o 8080, ou seja, deve ser capaz de executar todos os programas que já tenham sido escritos para o 8080. Além destas características, outras características adicionais foram introduzidas, de tal modo que o Z80 se tornou um microprocessador muito potente no seu tempo. Ele podia endereçar diretamente 64KB de memória, tinha 176 instruções, um grande número de registros, uma opção para refrescamento de memória RAM dinâmica, uma única alimentação, maior velocidade de funcionamento, etc. O Z80 tornou-se um grande sucesso e toda a gente se transferiu do 8080 para o Z80. Pode dizer-se que o Z80 se constituiu sem sombra de dúvida como o microprocessador de 8 bits com maior sucesso no seu tempo. Além da *Zilog*, outros novos fabricantes como *Mostek*, NEC, SHARP e SGS apareceram. O Z80 foi o coração de muitos computadores como o *Spectrum*, *Partner*, TRS703, Z-3 e *Galaxy*, que foram aqui usados.

Em 1976, a Intel apareceu com uma versão melhorada do microprocessador de 8 bits e designada por 8085. Contudo, o Z80 era tão superior a este que, bem depressa, a Intel perdeu a batalha. Ainda que mais alguns microprocessadores tenham aparecido no mercado (6809, 2650, SC/MP etc.), já tudo estava então decidido. Já não havia mais grandes melhorias a introduzir pelos fabricantes que fundamentassem a troca por um novo microprocessador, assim, o 6502 e o Z80, acompanhados pelo 6800, mantiveram-se como os mais representativos microprocessadores de 8 bits desse tempo [8].

## 6.3 PIC

Explicaremos, de forma resumida, através de um diagrama de blocos o microcontrolador PIC. A figura 6.1 apresenta esse diagrama [9].

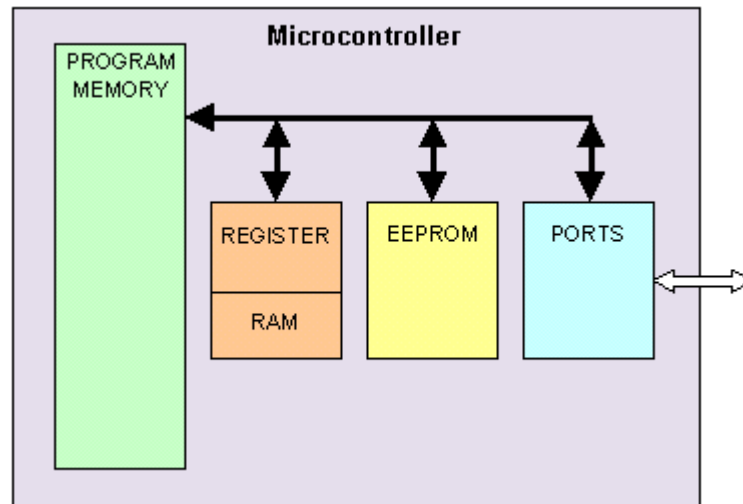



**Figura 6.1 – Diagrama de bloco representando o PIC.**

A memória de programa (verde ou program memory) contém o programa escrito. O programa é um conjunto de instrução que o microcontrolador vai desempenhar. O software (instruções) foi escrito em um computador utilizando o MPLAB e então programado dentro do "programa de memória". Esta memória é uma memória  EEPROM que pode ser reescrita milhares de vezes.

O REGISTRO e caixa de RAM (laranja ou register e ram) contém todos os registros internos e uma pequena memória de RAM onde você pode armazenar dados temporários. Há vários registros com funções diferentes. A memória RAM possui 64-128 bytes.

Há outra chave de memória que trabalhará o mesmo como a RAM e que é a EEPROM (amarela ou eeprom). Isto é uma pequena memória onde você pode ler e escrever os dados. Estes dados não serão perdidos quando desligarmos o microcontrolador. Na próxima vez que o ligarmos esses dados que estão na EEPROM serão lidos novamente.

A última caixa (azul ou ports) é a porta deste circuito. A porta é a entrada e saída do circuito real, sendo possível definir como entrada ou saída, ler e escrever os dados nestas portas.

A Pinagem do microcontrolador PIC16F870 está amostrada na figura 6.2 . Nela são mostrados os pinos de hardware do componente.

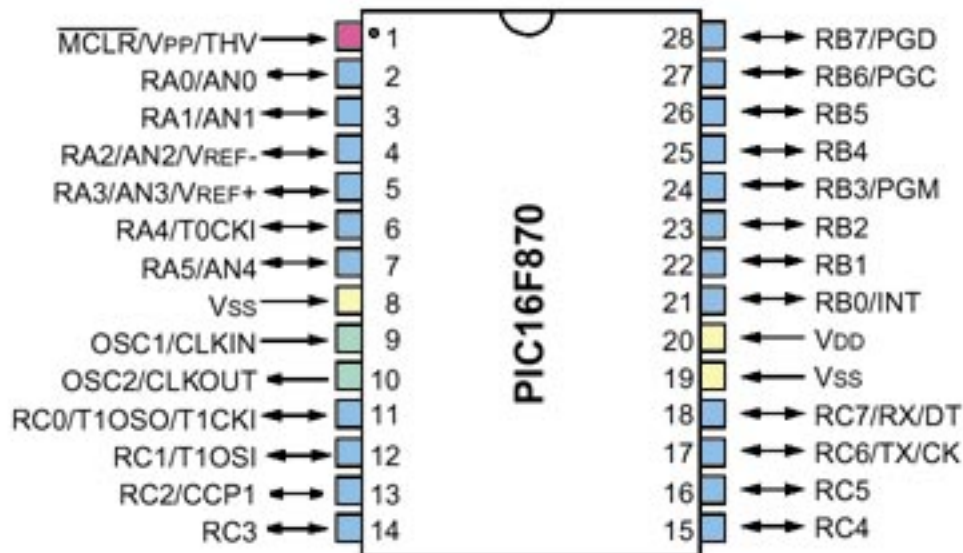



**Figura 6.2 – Pinagem do PIC 16F870.**

Os terminais 9 e 10 foram conectados a um cristal para obter um sinal de *clock* interno.

Os terminais 8, 19 e 20 são a alimentação do microcontrolador.

O terminais 1 é o *reset* do microcontrolador.

Os demais terminais são as portas (entradas ou saídas). Possuem varias outras funções e podem ser utilizados para vários propósitos. Neste projeto utilizamos esses terminais apenas como entradas e saídas.

**Registros Internos**

Há vários registros internos no microcontrolador. Cada registro tem um endereço. No *datasheets* estão cada um desses registros e sua utilização.

Os registros estão divididos dentro de quatro seções (Banco 0, Banco 1, Banco 2 e Banco 3). Antes de acessar um registro é necessário observar em qual banco este registro se executa. O PIC16F870 tem 35 instruções.

O arquivo.asm é o código em que foi escrito o programa utilizando o software MPLAB. Para transformarmos o código de .asm para .hex utilizamos o software MPASM que transforma seu código para instrução para no microcontrolador, este programa checa que não há algum erro no código. Também é gerado um arquivo .lst que mostra caso houve algum erro no programa indicando a linha e a mensagem de erro.

## 6.4 MPLAB

Para desenvolver o programa no microcontrolador foi utilizado o software da Microchip MPLAB e para a conversão em linguagem de máquina o MPASM.

O MPLAB é um pacote de programas que funcionam no Windows e que tornam mais fácil escrever ou desenvolver um programa. Pode descrever-se ainda melhor como sendo um ambiente de desenvolvimento para uma linguagem de programação *Standard* e destinado a rodar em um computador pessoal (PC) [8]. Anteriormente, as operações incidiam sobre uma linha de instrução e contemplavam um grande número de parâmetros, até que se introduziu o IDE *Integrated Development Environment* (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) e as operações tornaram-se mais fáceis, usando o MPLAB. Mesmo agora, as preferências das pessoas divergem e alguns programadores preferem ainda os editores *Standard* e os intérpretes linha a linha. Em qualquer dos casos, o programa escrito é legível e uma ajuda bem documentada está disponível.

## 6.5 FLUXOGRAMA

No programa desenvolvido utilizamos o conversor analógico para digital do microcontrolador com 10 bits para obtermos uma melhor precisão, então foi necessário primeiro compararmos os valores dos 2 bits do valor alto do conversor, e se caso forem iguais verificamos os bits baixos, e o tempo do rele ligado ou desligado é feito por TON e TOFF na figura **6.3** esta o fluxograma do programa.

- **TON –** mínimo tempo do rele ligado.
- **TOFF –** mínimo tempo do rele desligado.

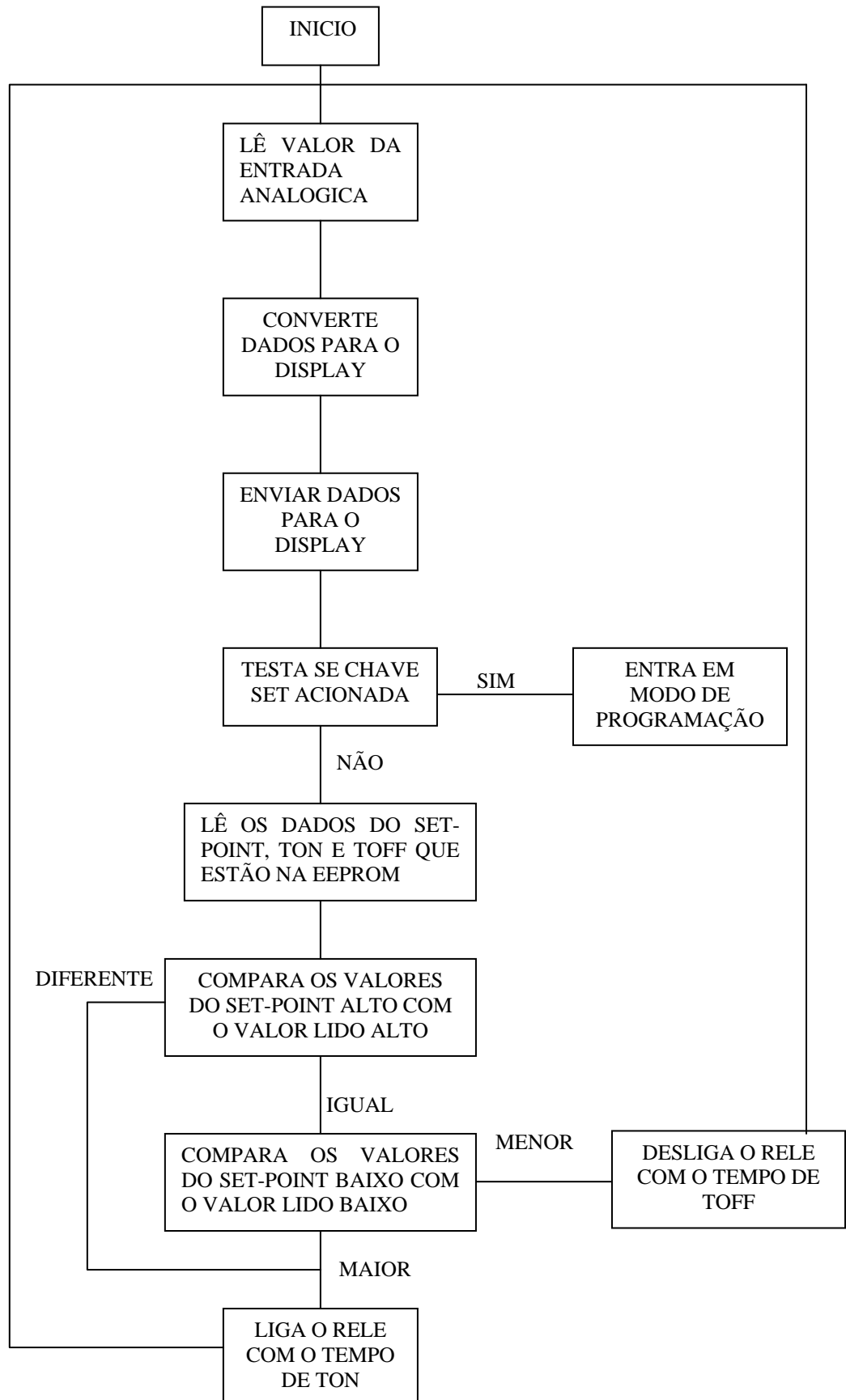



**Figura 6.3 – Fluxograma do programa.**

# 7 A MONTAGEM

Este capítulo traz uma parte importante do trabalho, pois aqui falaremos sobre componentes de uso mais específico e detalharemos mais os estágios constituintes do projeto. Para não carregar muito o número de páginas, optamos por colocar toda a parte gráfica (figuras de simulação, layout da placa de circuito impresso, etc.) em apêndices no final do trabalho.

## 7.1 Estágio de alimentação (Fonte)

A fonte de alimentação do circuito eletrônico do controlador é constituída por:

- ✓ Um fusível de vidro de 0,5 A, para a proteção do circuito.
- ✓ Um transformador 12+12 250mA.
- ✓ Dois diodos 1N4007, para retificação de onda completa.
- ✓ Um Capacitor Eletrolítico de 1000µF X 25V.
- ✓ Um Circuito Integrado 7812, para estabilizar a tensão que aciona o relé e alimentar o amplificador com 12 VDC.
- ✓ Um Circuito Integrado 7805, para estabilizar a tensão que alimenta o restante do circuito em 5 VDC.
- ✓ Dois Capacitores Eletrolíticos de 220µF X 25V, na saída de cada regulador de tensão.
- ✓ Dois Capacitores Epóxi de .1µF X 63V, na saída de cada regulador de tensão.

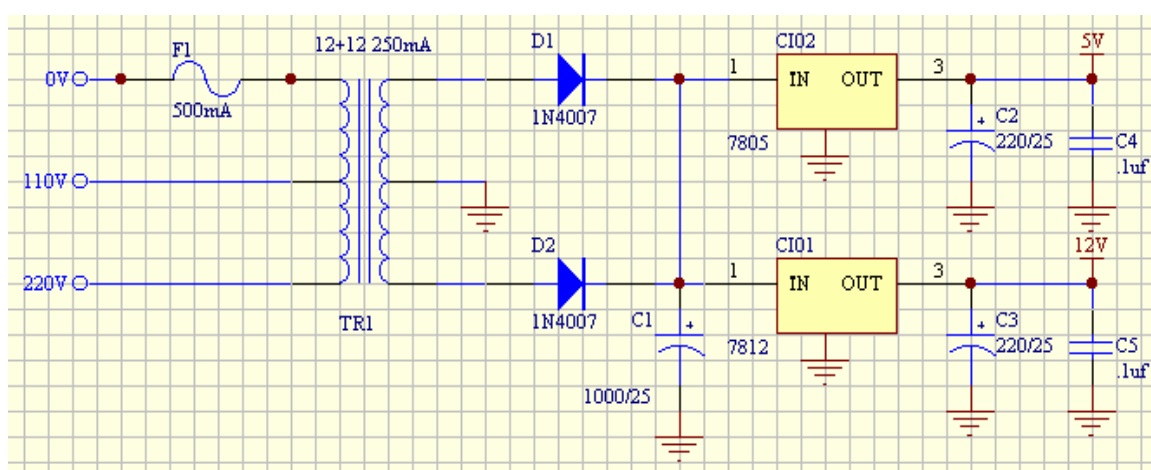



Figura 8.1 – Esquema da fonte de alimentação.

## 7.2 Estágio de Amplificação - AmpOp

O circuito integrado utilizado neste projeto foi o LM 358 composto de dois amplificadores operacionais como mostra a figura **7.2** e suas principais características são: voltagem de offset de entrada Baixo (2 mV), baixo custo e corrente de entrada compensada pela temperatura [10].

**Figura 7.2 – Esquema interno do CI LM 358.**

Na figura **7.2.1** está o esquema do amplificador, onde em sua entrada está o sensor de temperatura LM35 e na saída um diodo zener de 5V1 para a proteção do microcontrolador.

**Figura 7.2.1 – Esquema do amplificador..**

## 7.3 Amplificador de corrente e Demultiplexador dos Displays

### 7.3.1 O CI ULN 2003

Circuito integrado que selecionará qual display deverá ser ligado, é composto de 8 conjuntos de transistores *Darlington* já com os resistores de ligação, conforme figura 7.3 . Na figura 7.3 está a descrição do conjunto de 8 transistores do circuito integrado representados por uma porta NOT com os diodos para proteger os transistores [11].

(a) (b)

**Figura 7.3 – (a) Esquema interno de um conjunto e (b) Descrição completa do CI ULN 2003.**

Como estes transistores suportam uma corrente de até 500mA, foi utilizado para energizar o relé.

## 7.3.2 O CI 74HC245

É um circuito integrado de alta velocidade, é geralmente utilizado para transferência de dados bi-direcionais, possui três estados de saída (nível alto, nível baixo e alta impedância), neste projeto foi utilizado apenas como um buffer para diminuir a corrente dos pinos do microcontrolador e por possuir entradas em um lado do componente e a saída no outro lado dependendo da configuração feita no pino DIR (pino nº 1) que foi ligado no positivo da fonte de 5V, para habilitar o seu funcionamento ligamos o pino OE (pino nº 19) que foi ligado ao GND [12].

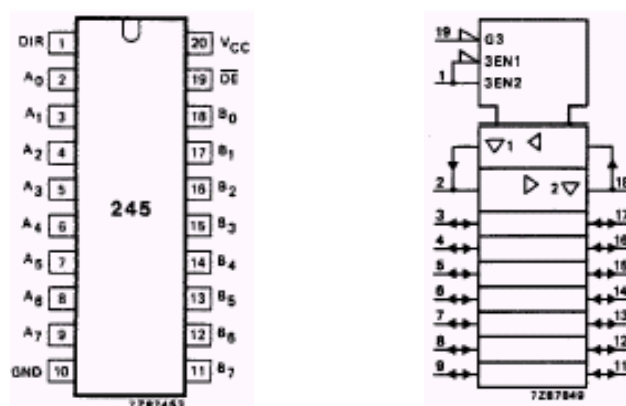
Estes dois circuitos integrados são responsáveis pela demultiplexação dos 4 displays de 7 segmentos presentes neste projeto, ambos são controlados pelo microcontrolador.A pinagem do CI 74HC245 é mostrado na figura 7.3 a seguir.

(a) (b)

**Figura 7.3 – (a) Descrição dos pinos e (b) esquema interno do CI 74HC245.**

O funcionamento do circuito integrado 74HC245 está representado na tabela 7.1.

**Tabela 7.1 – Tabela verdade do circuito integrado 74HC245.**

FUNCTION TABLE

| INPUTS | | INPUTS/OUTPUTS | |
|---|---|---|---|
| $\overline{OE}$ | DIR | $A_n$ | $B_n$ |
| L | L | A = B | inputs |
| L | H | inputs | B = A |
| H | X | Z | Z |

Notes

1. H = HIGH voltage level
   L = LOW voltage level
   X = don't care
   Z = high impedance OFF-state

Utilizamos o CI 74HC245 apenas como um buffer para que a corrente do display não fique em cima do microcontrolador. Ele normalmente é utilizado para transmissão de dados bidirecionais mas em nosso projeto o configuramos como mostra na tabela 8.1, para ele transmitir os dados de A para B.

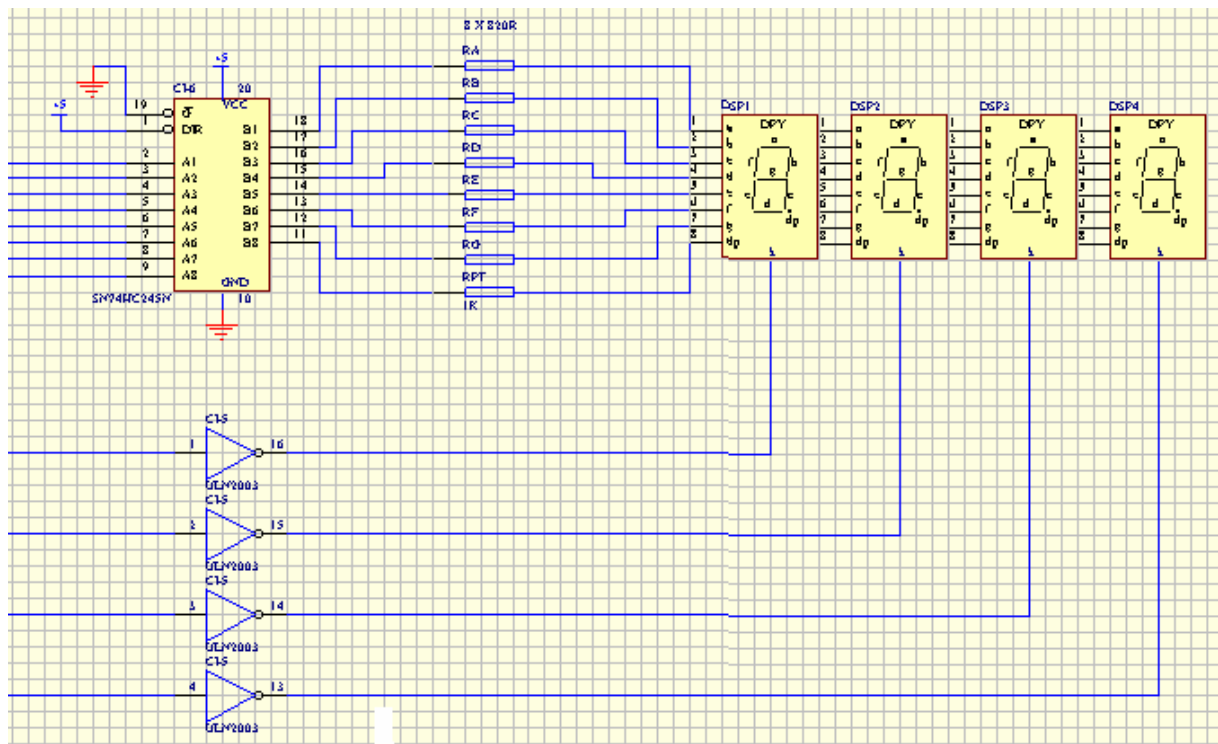



**Figura 7.3.1 – Esquema do demultiplexador dos displays.**

# 8 PLACA PCB

Utilizamos o software Protel para a confecção da placa de circuito impresso que foi desenvolvida pela empresa Circuits localizada na cidade de Mogi Mirim. Nas figuras abaixo a placa está detalhada em escala 1:1.

## 8.1 LAY-OUT

**Figura 8.1 – Lay-out da placa de circuito impresso.**

## 8.2 TRILHAS LADO DOS COMPONENTES

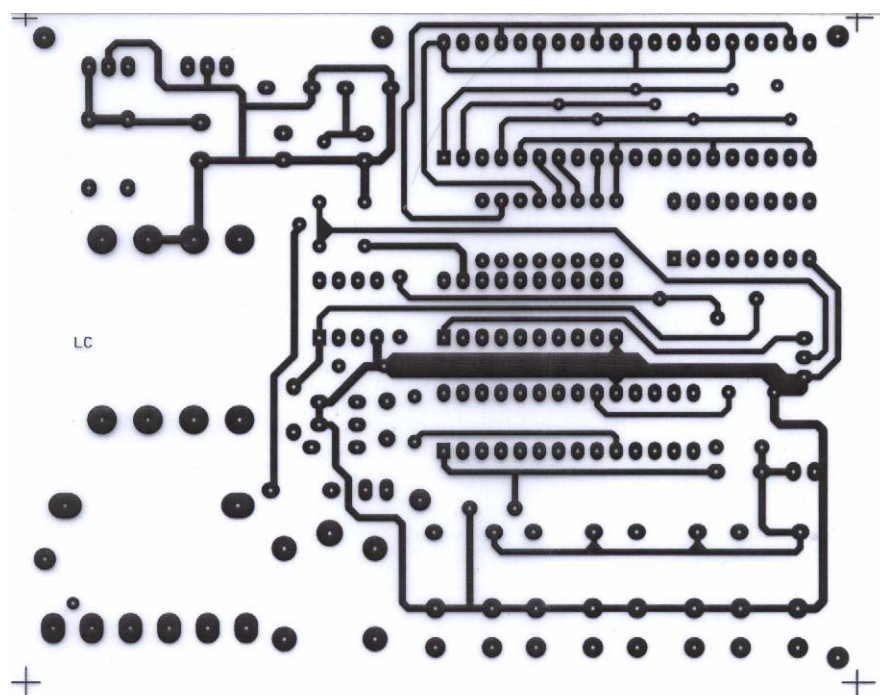



**Figura 8.2 – Desenho das trilhas lado dos componentes.**

## 8.3 TRILHAS LADO DA SOLDA

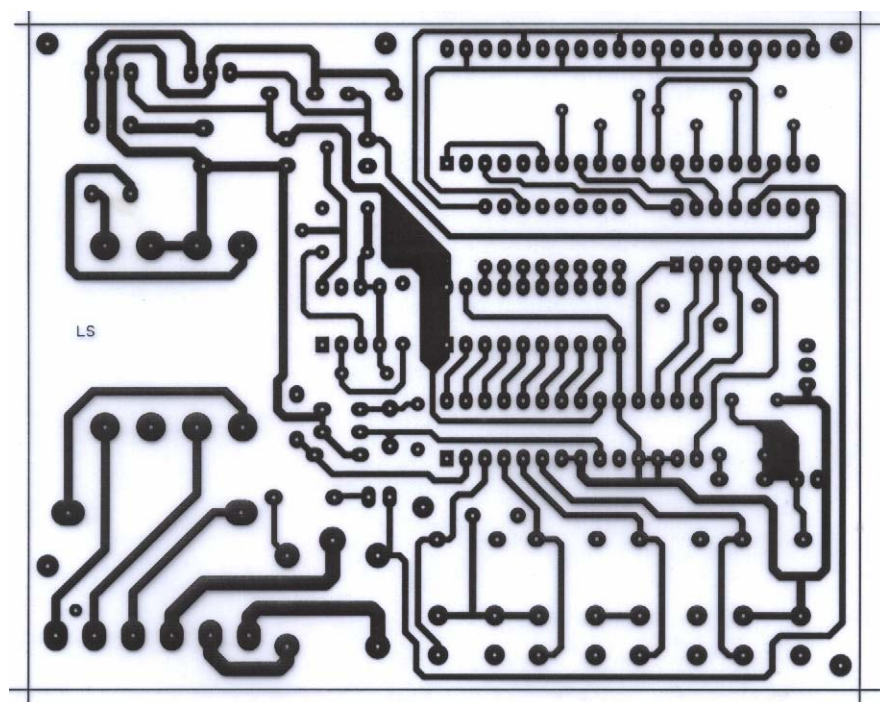



**Figura 8.3 – Desenho das trilhas lado da solda.**

## 8.4 MASCARA DE SOLDA

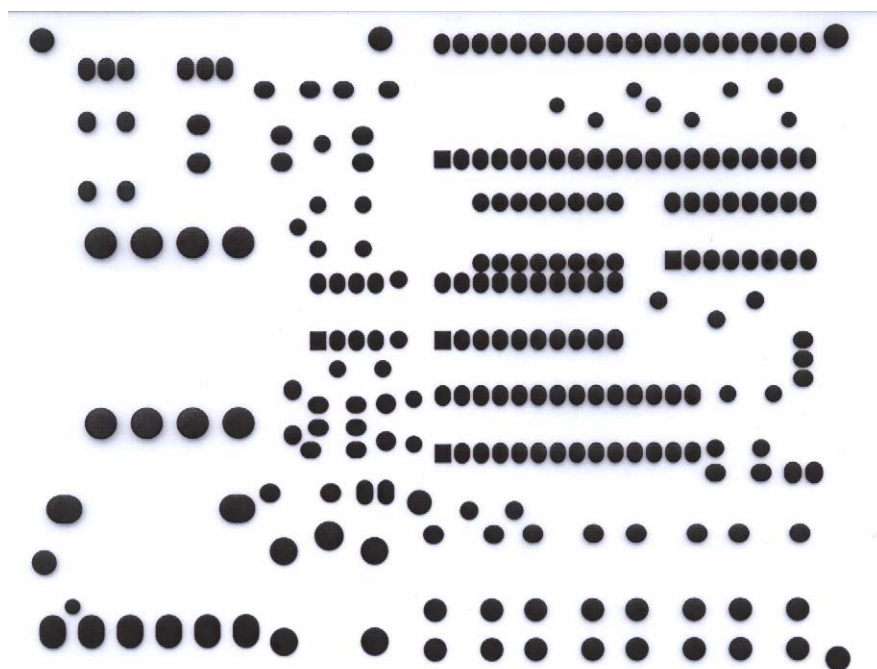



**Figura 8.4 – Mascara de solda da placa de circuito impresso.**

# 9 RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos o ambiente onde foi feita a tomada de resultados e apresentamos uma curva de leitura dos dados na tentativa de demonstrar o perfeito funcionamento do controlador em questão.

## 9.1 A Planta

Para a obtenção dos resultados foi desenvolvido o primeiro programa (planta) utilizando o Labview. A figura 9.1. apresenta o esquema da planta. Na planta ele está fazendo a leitura do sensor, tirando uma media de 30 leituras,  multiplicando 100, somando 0,5 ºC para corrigir a diferença que ouve nos 2 sensores do local para enviar os dados para o gráfico e o valor da temperatura.

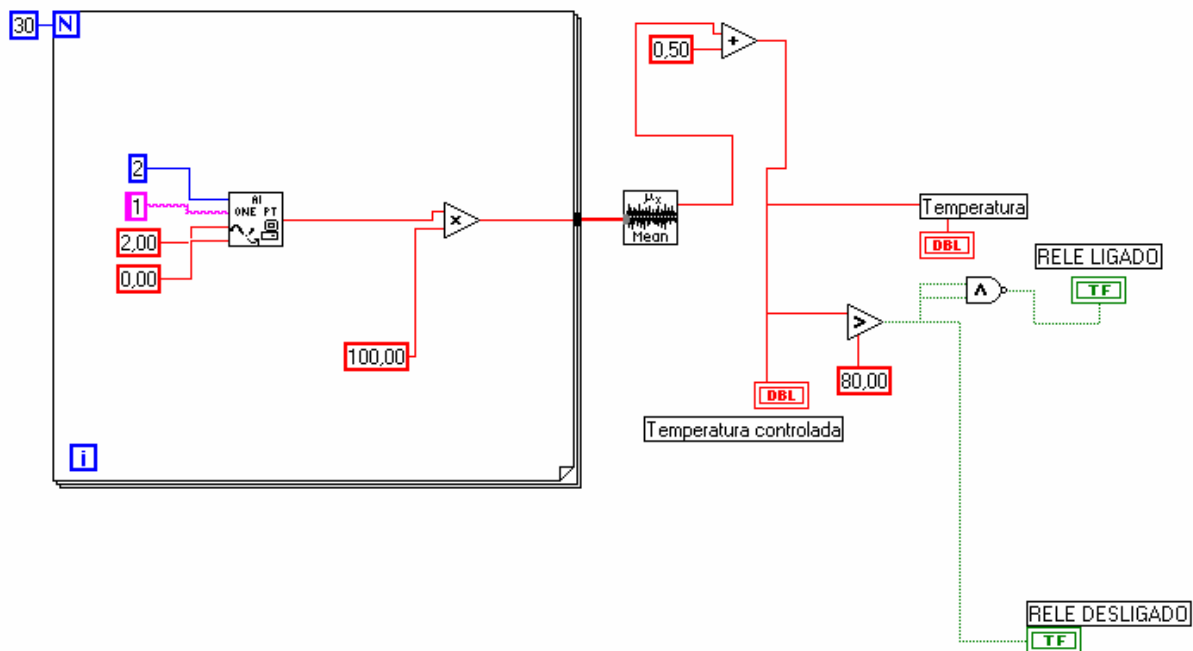



**Figura 9.1 – Esquema do primeiro programa desenvolvido no Labview.**

O ambiente Labview foi escolhido devido a disponibilidade do equipamento/software na instituição, à flexibilidade à confiabilidade do mesmo.

É do nosso interesse apresentar, em bancada, o *setup* montado e descritivo neste documento.

No segundo esquema, que é o definitivo, acrescentamos junto com a forma de onda da temperatura o sinal que liga o rele, para obtermos a hora exata do ponto de atuação do rele. Esta outra parte do programa alem de projetar na tela a forma de onda do atuador ao mesmo tempo do gráfico da temperatura também informa a tensão que está saído do microcontrolador para acionar o rele. Na figura 9.1.1 esta o esquema desenvolvido no Labview.

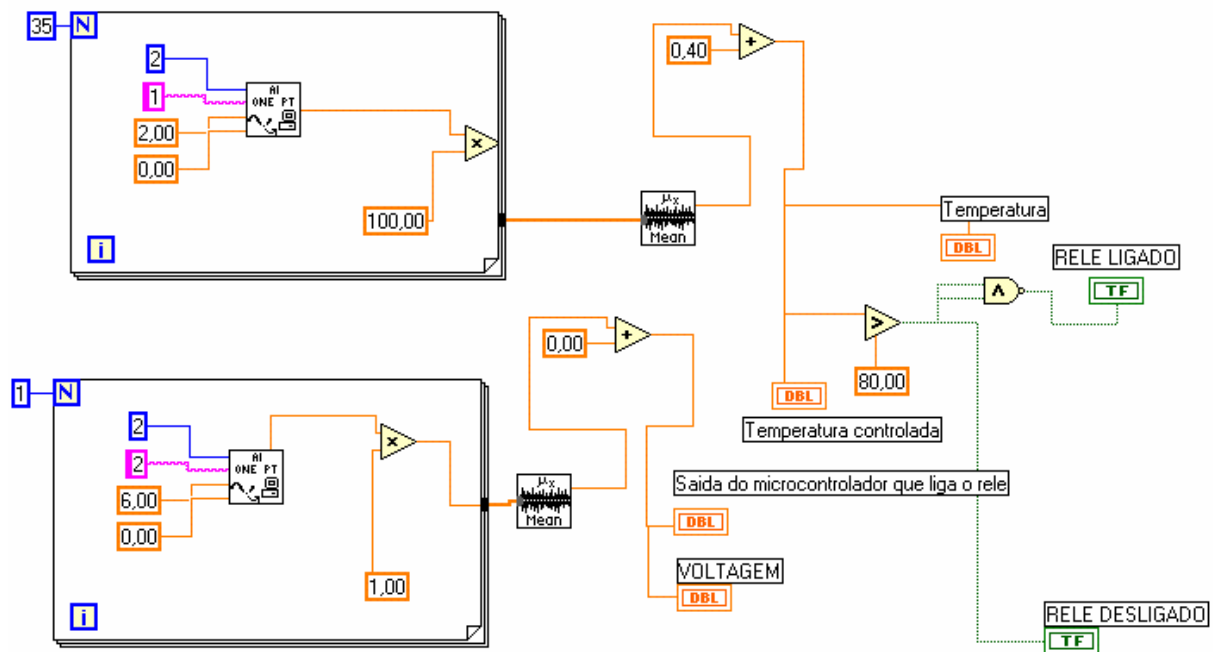



**Figura 9.1.1 – Esquema do Labview desenvolvido para observarmos a temperatura e o atuador.**

## 9.2 Leituras

Instalamos um outro sensor de temperatura (LM 35) junto ao sensor do controlador, com a finalidade de transferir para o Labview os dados decorrentes da leitura da temperatura. Com esses dados levantamos um gráfico de aproximadamente 10 minutos onde analizamos os resultados. A figura 9.2 apresenta um diagrama de blocos do esquema usado. Já a figura 9.3 mostra a leitura da temperatura feita pelo sensor auxiliar com *setpoint* em 80ºC.

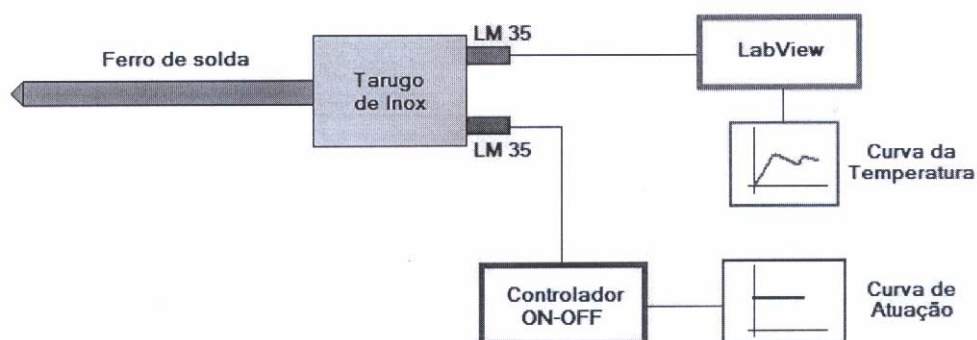



**Figura 9.2 – Diagrama de blocos do esquema de leitura utilizado.**

**Figura 9.3 – Leitura da temperatura com *setpoint* em 80°C.**

A curva apresentada se aproxima, em muito, àquela de um sistema de segunda ordem, típico de controle de temperatura. Sabendo das limitações de um controlador ON-OFF que, diferente de um proporcional-integrativo, por exemplo, não apresenta condições de alterar a forma significativa a equação característica do sistema, nos demos por satisfeitos pois o atuador (rele) funcionou perfeitamente para o ponto de temperatura programado.

Procuramos trabalhar em temperaturas mais elevadas, quase que no limite superior da faixa do projeto pelo fato da variação da temperatura, principalmente na descida, não ser tão lenta. O comportamento demonstrado pela curva da figura 9.3 foi agravado pela escolha do sistema a ser controlado, que foi construído utilizando um ferro de solda de 30W e um tarugo de aço inox onde está fixado o sensor de temperatura. A presença do tarugo, apesar de causar o transtorno da “memória de temperatura”, é justificada no aspecto de não tornar muito abrupta a subida da temperatura do ferro de solda.

Na figura 9.3.1 esta o segundo programa desenvolvido no Labview que indica quando o rele foi acionado ao mesmo tempo em que a temperatura abaixou do valor do *setpoint.*

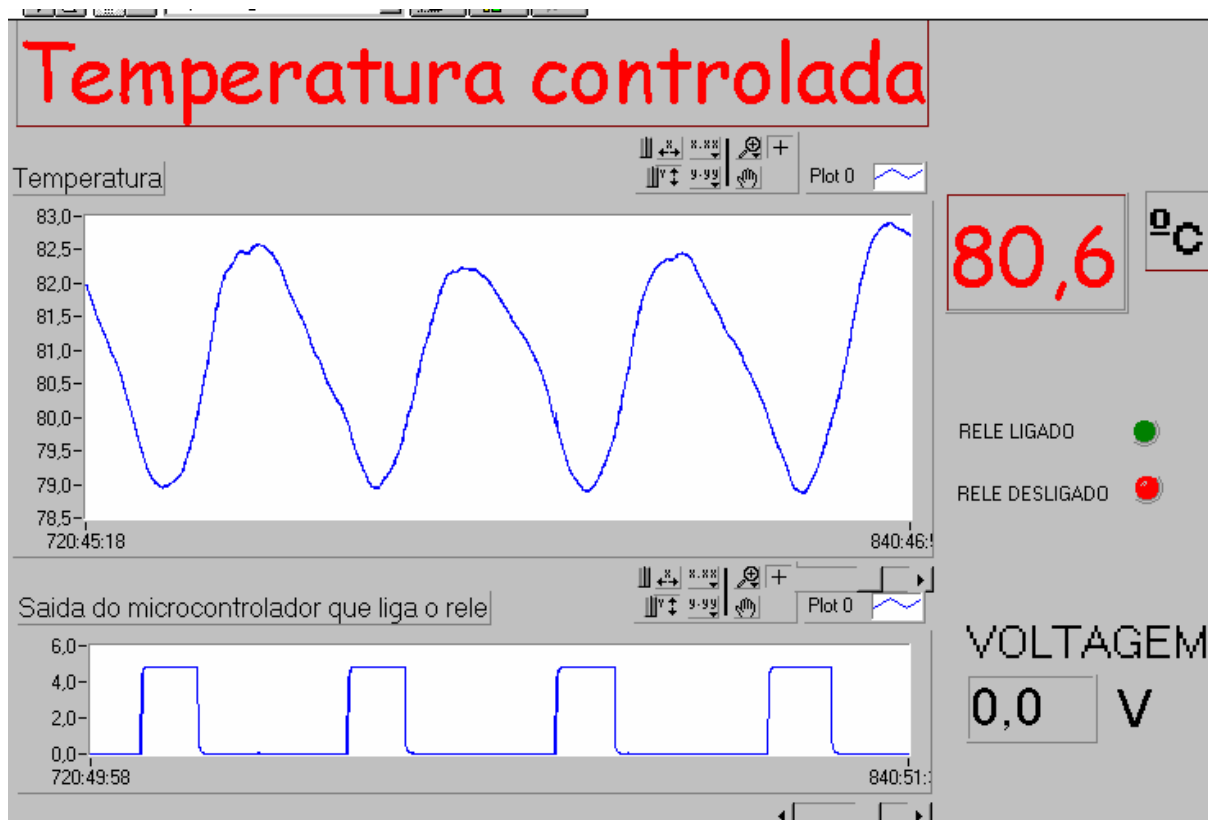



**Figura 9.3.1 – Formas de onda da temperatura e do atuador do rele no Labview.**

## 9.3 Alternativa

O ferro de solda esquenta muito rápido, e não consegue aquecer o tarugo com a mesma intensidade. Quando o tarugo chega na temperatura de controle, o ferro de solda está muito mais quente, por este motivo a temperatura continua subindo mesmo com ferro de solda desligado.

Para corrigirmos este problema da variação de temperatura nos foi sugerida por alguns professores, a adaptação de um mini ventilador acoplado ao sistema de aquecimento. Quando o sistema atingir a temperatura escolhida para o controle o mini ventilador deveria ligar par acelerar o resfriamento do ferro de solda.

Um outro problema que aconteceu no circuito foi que, utilizamos um diodo zener de 5V1 com o intuito de proteger o microcontrolador caso a temperatura ultrapasse 100ºC. Este diodo quando chegava perto do valor nominal começava a bloquear a passagem da tensão para o microcontrolador, então os valores de temperatura entre 75 a 90ºC estavam sendo indicados

errados. Para solucionar este problema retiramos este componente e trabalhamos em uma faixa mais estreita para valores de temperatura.

# 10 CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou, como contribuição mais importante, uma alternativa economicamente mais interessante e com grau de eficiência dentro de limites aceitáveis, projetar um controlador de temperatura com aplicação do microcontrolador PIC 16F870.

Os resultados obtidos, através do protótipo projetado e montado, indicam que houve um perfeito casamento entre os conceitos teóricos e práticos seguidos para a execução do projeto e que nos foram ensinados ao longo do período de curso nesta instituição de ensino superior. Foi observado que, apesar da limitação do controlador ON-OFF e do sistema a ser controlado ter alguns inconvenientes (por exemplo, o tempo de resfrio), o acionamento do controle de temperatura, via relé, funcionou perfeitamente.

Se faz necessário ressaltar o caráter multidisciplinar do projeto, envolvendo as áreas integrantes do curso da engenharia mecatrônica, que são a eletrônica e o controle. Assim, acreditamos ter chegado ao objetivo que se presta o Trabalho de Conclusão de Curso.

## 10.1 Extensões

Este trabalho pode ser continuado e melhorado futuramente. Sugerimos alguns pontos:

- Implementação de controle PID – Proporcional Integrativo e Derivativo - que vai melhorar o tempo de transitório e a estabilidade do sistema;
- Utilização da mesma placa para controle de outras variáveis (tempo, umidade, etc.);
- Utilização de outros componentes mais robustos e mais complexos, que não comprometam o baixo custo do projeto original aqui apresentado. Por exemplo, o uso de um sensor com saída já amplificada, evitando o estágio de amplificação presente no nosso projeto;
- Um acessório tipo ventoinha poderia ser colocado no sistema para que a ventilação do sistema (ferro de solda) fizesse com que a temperatura baixasse mais rapidamente.

# Apêndice A – Aferição do Sensor LM35

**Tabela A.1 – Tabela de aferição do LM35 inserido na placa do controlador.**

| Entrada (mV) | Temperatura referente à tensão (ºC) | Valor de temperatura lido (ºC) |
|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 1,00 | 0,90 |
| 20,00 | 2,00 | 2,00 |
| 29,99 | 3,00 | 3,00 |
| 40,08 | 4,01 | 3,90 |
| 50,02 | 5,00 | 4,90 |
| 60,04 | 6,00 | 5,90 |
| 70,08 | 7,01 | 6,90 |
| 80,07 | 8,01 | 7,90 |
| 90,06 | 9,01 | 8,90 |
| 100,08 | 10,01 | 9,90 |
| 150,03 | 15,00 | 14,90 |
| 199,90 | 19,99 | 19,90 |
| 250,10 | 25,01 | 25,00 |
| 300,03 | 30,00 | 30,00 |
| 349,90 | 34,99 | 35,00 |
| 400,30 | 40,03 | 40,10 |
| 450,30 | 45,03 | 45,10 |
| 500,10 | 50,01 | 50,10 |
| 550,20 | 55,02 | 55,10 |
| 600,10 | 60,01 | 60,00 |
| 650,00 | 65,00 | 65,00 |
| 700,10 | 70,01 | 69,80 |
| 750,30 | 75,03 | 74,60 |
| 800,30 | 80,03 | 80,20 |
| 850,80 | 85,08 | 85,30 |
| 900,00 | 90,00 | 90,30 |
| 950,10 | 95,01 | 95,30 |
| 997,10 | 99,71 | 99,90 |

# Apêndice B – Simulação do estágio de Amplificação

Com os valores dos resistores definidos, foi simulado o teste no Multisim. A figura B1 apresenta o circuito para simulação.

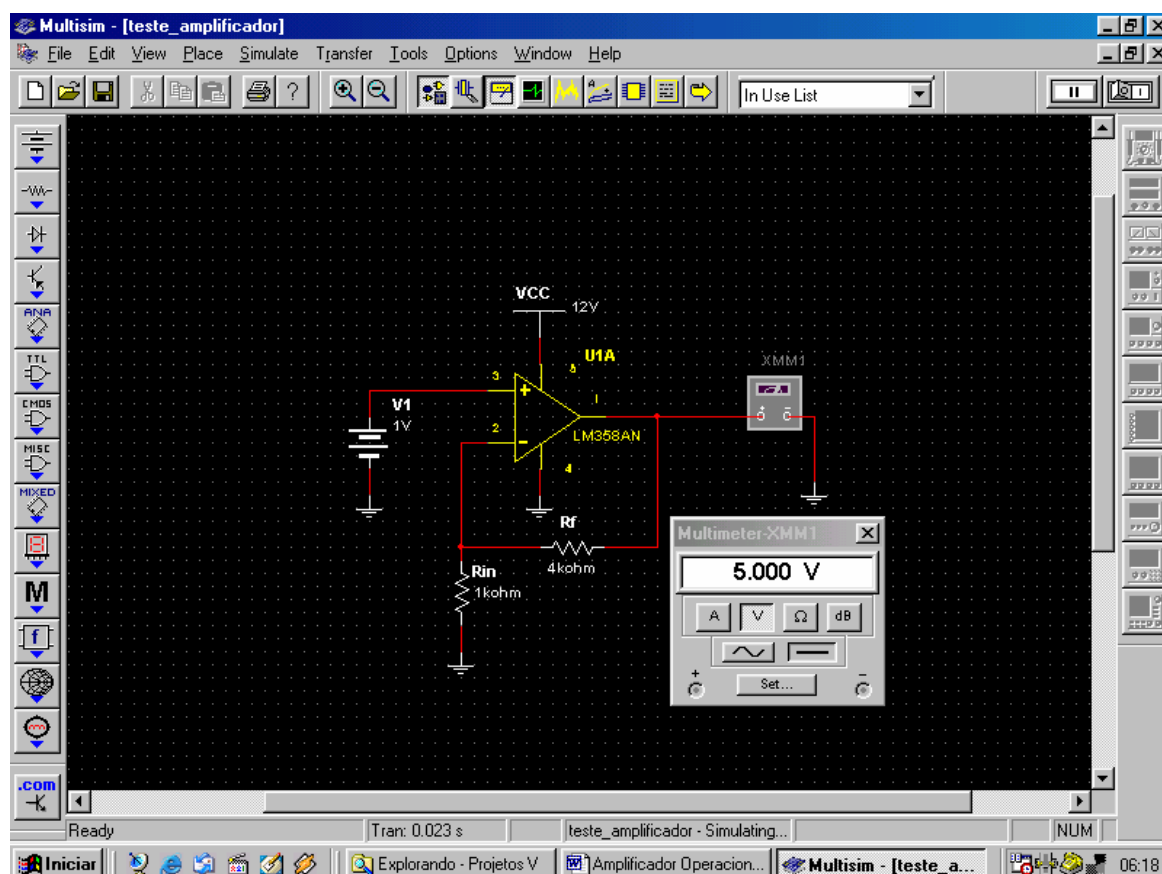



**Figura B1- Montagem do amplificador para levantamento da tabela B1.**

Simulando a entrada do amplificador operacional com uma fonte de tensão e na saída, um multímetro obtivemos a tabela **B1** de funcionamento do amplificador.

**Tabela B1 – Resultados obtidos da simulação do amplificador.**

| Tensão de entrada (mV) | Tensão de Saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de Saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de Saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de Saída (mV) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | **0** | **260** | **1300** | **520** | **2600** | **780** | **3900** |
| **10** | **50** | **270** | **1350** | **530** | **2650** | **790** | **3950** |

| 20 | 100 | 280 | 1400 | 540 | 2700 | 800 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 150 | 290 | 1450 | 550 | 2750 | 810 | 4050 |
| 40 | 200 | 300 | 1500 | 560 | 2800 | 820 | 4100 |
| 50 | 250 | 310 | 1550 | 570 | 2850 | 830 | 4150 |
| 60 | 300 | 320 | 1600 | 580 | 2900 | 840 | 4200 |
| 70 | 350 | 330 | 1650 | 590 | 2950 | 850 | 4250 |
| 80 | 400 | 340 | 1700 | 600 | 3000 | 860 | 4300 |
| 90 | 450 | 350 | 1750 | 610 | 3050 | 870 | 4350 |
| 100 | 500 | 360 | 1800 | 620 | 3100 | 880 | 4400 |
| 110 | 550 | 370 | 1850 | 630 | 3150 | 890 | 4450 |
| 120 | 600 | 380 | 1900 | 640 | 3200 | 900 | 4500 |
| 130 | 650 | 390 | 1950 | 650 | 3250 | 910 | 4550 |
| 140 | 700 | 400 | 2000 | 660 | 3300 | 920 | 4600 |
| 150 | 750 | 410 | 2050 | 670 | 3350 | 930 | 4650 |
| 160 | 800 | 420 | 2100 | 680 | 3400 | 940 | 4700 |
| 170 | 850 | 430 | 2150 | 690 | 3450 | 950 | 4750 |
| 180 | 900 | 440 | 2200 | 700 | 3500 | 960 | 4800 |
| 190 | 950 | 450 | 2250 | 710 | 3550 | 970 | 4850 |
| 200 | 1000 | 460 | 2300 | 720 | 3600 | 980 | 4900 |
| 210 | 1050 | 470 | 2350 | 730 | 3650 | 990 | 4950 |
| 220 | 1100 | 480 | 2400 | 740 | 3700 | 1000 | 5000 |
| 230 | 1150 | 490 | 2450 | 750 | 3750 | | |
| 240 | 1200 | 500 | 2500 | 760 | 3800 | | |
| 250 | 1250 | 510 | 2550 | 770 | 3850 | | |

Para a simulação do circuito do amplificado foram utilizados:

Instrumentos:

- ✓ 1 gerador de mV- para simular o sensor de temperatura.
- ✓ 2 multímetros digitais – um na entrada e outro na saída para a aferição do amplificador.
- ✓ 1 fonte de alimentação de 12 V para a alimentação do CI amplificador.
- ✓ 1 pront-o-board para a montagem do circuito.

Componentes:

- ✓ 1 CI LM358.
- ✓ 1 resistor de 1k.
- ✓ 1 resistor de 3k3.
- ✓ 1 trimpot de 1k.

Com o circuito ligado, foi feita a aferição do amplificador e o levantamento da tabela B2 de funcionamento do mesmo. Na figura B2 está o esquema de como foi ligado e aferido o amplificador.

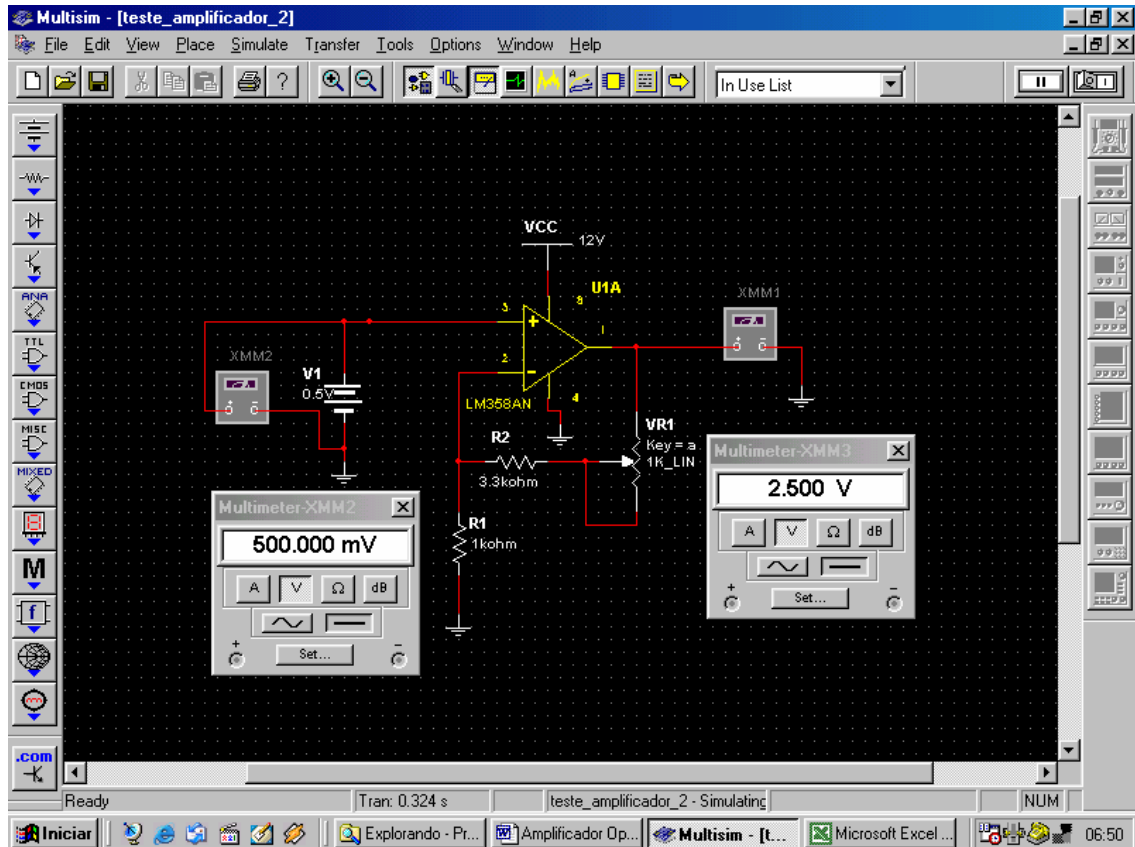



**Figura B2 - Esquema de ligação do amplificador para o levantamento da tabela B2.**

**Tabela B2 - Dados obtidos simulando o circuito amplificador no pront-o-board sendo adquiridos com a leitura dos multímetros.**

| Tensão de entrada (mV) | Tensão de saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de saída (mV) | Tensão de entrada (mV) | Tensão de saída (mV) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | **1,0** | **260** | **1299,0** | **520** | **2603,0** | **780** | **3900,0** |
| **10** | **46,1** | **270** | **1348,0** | **530** | **2655,0** | **790** | **3950,0** |
| **20** | **96,0** | **280** | **1401,0** | **540** | **2704,0** | **800** | **4000,0** |
| **30** | **147,2** | **290** | **1450,0** | **550** | **2752,0** | **810** | **4050,0** |
| **40** | **197,1** | **300** | **1498,0** | **560** | **2805,0** | **820** | **4100,0** |
| **50** | **248,1** | **310** | **1550,0** | **570** | **2856,0** | **830** | **4150,0** |
| **60** | **295,9** | **320** | **1600,0** | **580** | **2904,0** | **840** | **4200,0** |
| **70** | **347,0** | **330** | **1651,0** | **590** | **2955,0** | **850** | **4250,0** |

| 80 | 400,0 | 340 | 1701,0 | 600 | 3004,0 | 860 | 4300,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 449,0 | 350 | 1750,0 | 610 | 3054,0 | 870 | 4350,0 |
| 100 | 497,0 | 360 | 1801,0 | 620 | 3105,0 | 880 | 4400,0 |
| 110 | 546,0 | 370 | 1850,0 | 630 | 3154,0 | 890 | 4450,0 |
| 120 | 599,0 | 380 | 1900,0 | 640 | 3203,0 | 900 | 4500,0 |
| 130 | 648,0 | 390 | 1952,0 | 650 | 3250,0 | 910 | 4550,0 |
| 140 | 697,0 | 400 | 2001,0 | 660 | 3300,0 | 920 | 4600,0 |
| 150 | 749,0 | 410 | 2050,0 | 670 | 3350,0 | 930 | 4650,0 |
| 160 | 799,0 | 420 | 2100,0 | 680 | 3400,0 | 940 | 4700,0 |
| 170 | 847,0 | 430 | 2153,0 | 690 | 3450,0 | 950 | 4750,0 |
| 180 | 898,0 | 440 | 2203,0 | 700 | 3500,0 | 960 | 4800,0 |
| 190 | 948,0 | 450 | 2250,0 | 710 | 3550,0 | 970 | 4850,0 |
| 200 | 1000,0 | 460 | 2300,0 | 720 | 3600,0 | 980 | 4900,0 |
| 210 | 1050,0 | 470 | 2348,0 | 730 | 3650,0 | 990 | 4950,0 |
| 220 | 1100,0 | 480 | 2402,0 | 740 | 3700,0 | 1000 | 5000,0 |
| 230 | 1149,0 | 490 | 2452,0 | 750 | 3750,0 | | |
| 240 | 1199,0 | 500 | 2502,0 | 760 | 3800,0 | | |
| 250 | 1250,0 | 510 | 2553,0 | 770 | 3850,0 | | |

# Apêndice C – O Projeto

Aqui apresentaremos os detalhes do projeto do controlador de temperatura. Na figura C1 apresentamos o esquema do projeto confeccionado usando o Protel. Também do Protel vem a placa de circuito impresso, mostrado na figura C2. Para dar um fechamento melhor do projeto, mostramos, através da tabela C1, um descritivo de valores em Reais dos componentes do projeto aqui desenvolvido.

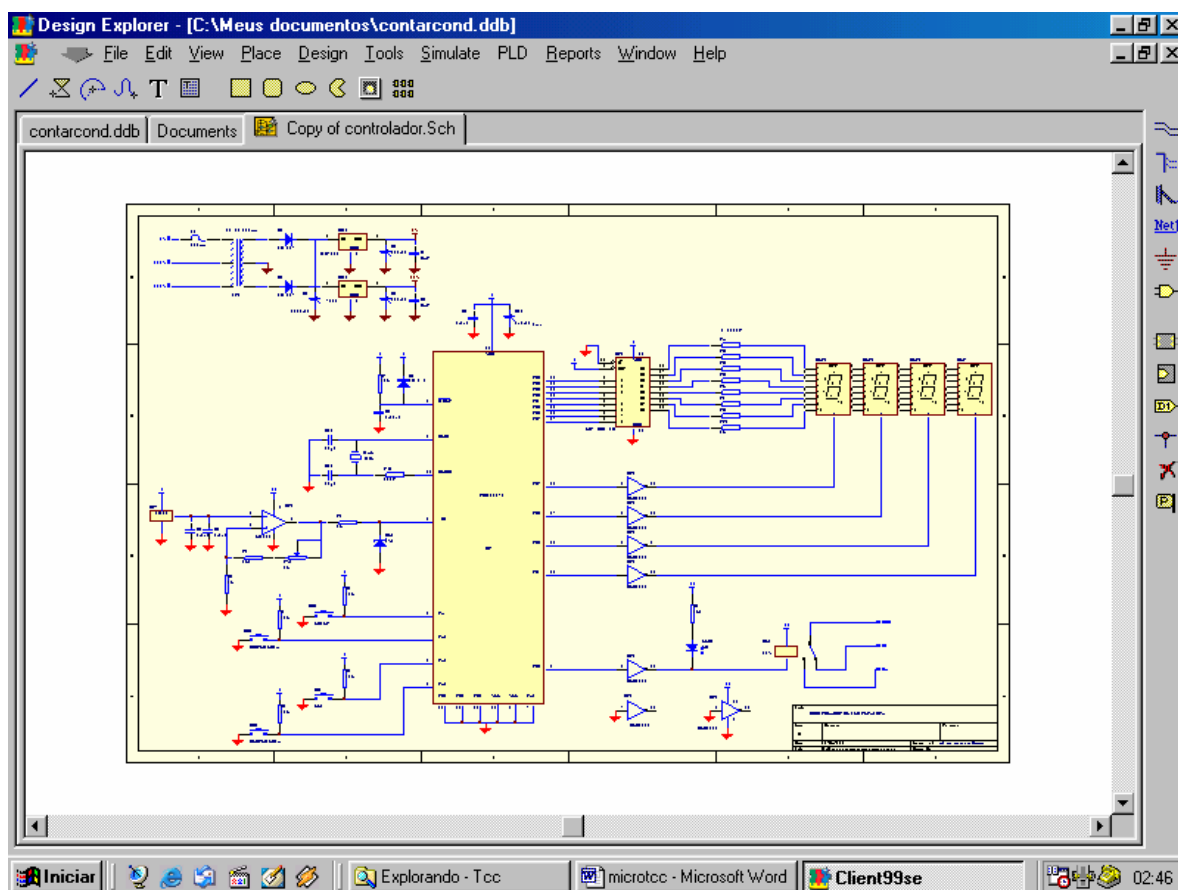



**Figura C1 – Esquemático do controlador de temperatura.**

Figura C2 – Layout da placa de circuito impresso do controlador de temperatura.

Figura C3 – Placa e circuito impresso.

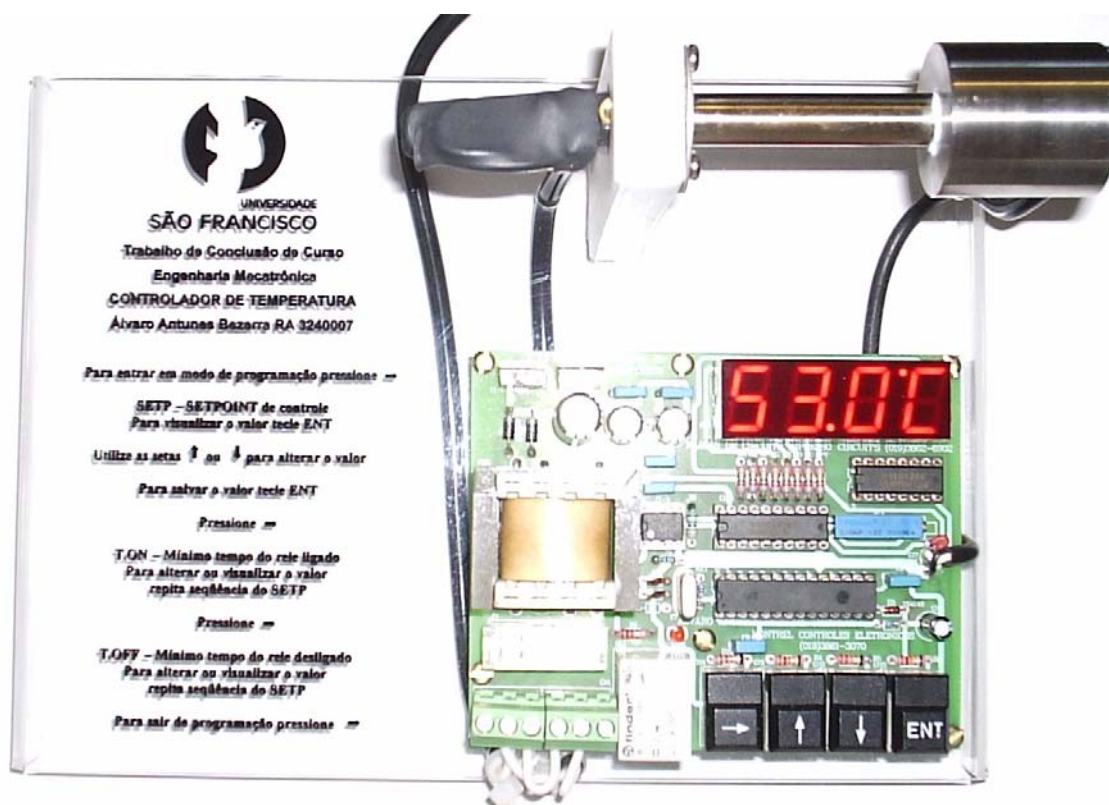



**Figura C4 – Projeto do controlador montado.**

**Tabela C1 – Descritivo de preços dos componentes do controlador de temperatura.**

| Quantidade | Descrição dos componentes | Preço | Subtotal |
|---|---|---|---|
| 1 | Porta fusível p/CI 20mm | R$ 0,65 | R$ 0,65 |
| 1 | Capa de porta fusível 20mm | R$ 0,30 | R$ 0,30 |
| 1 | Fusível de vidro 0,5A 20mm | R$ 0,08 | R$ 0,08 |
| 1 | Transformador 12+12 250mA | R$ 5,54 | R$ 5,54 |
| 2 | Diodo 1N4007 | R$ 0,03 | R$ 0,06 |
| 1 | Diodo 1N4148 | R$ 0,03 | R$ 0,03 |
| 1 | Diodo Zenner 5V1 | R$ 0,09 | R$ 0,09 |
| 1 | CI 7805 | R$ 0,78 | R$ 0,78 |
| 1 | CI 7812 | R$ 0,51 | R$ 0,51 |
| 1 | CI LM 35 | R$ 4,00 | R$ 4,00 |
| 1 | CI ULN 2003 | R$ 0,54 | R$ 0,54 |
| 1 | CI PIC 16F870 | R$ 18,36 | R$ 18,36 |
| 1 | CI 74HC245 | R$ 0,80 | R$ 0,80 |
| 1 | CI LM 358 | R$ 0,32 | R$ 0,32 |
| 5 | Capacitor Epox .1µf | R$ 0,13 | R$ 0,65 |
| 2 | Capacitor Cerâmico 22pf | R$ 0,05 | R$ 0,10 |
| 1 | Capacitor Epox .22µf | R$ 0,29 | R$ 0,29 |
| 1 | Capacitor Eletr. 1000/35 | R$ 0,76 | R$ 0,76 |
| 2 | Capacitor Eletr. 220/25 | R$ 0,28 | R$ 0,56 |
| 1 | Capacitor Eletr. 1/50 | R$ 0,09 | R$ 0,09 |
| 1 | Cristal 4 MHz | R$ 0,68 | R$ 0,68 |
| 1 | Trimpot precisão 1K | R$ 1,71 | R$ 1,71 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Led vermelho 3mm | R$ 0,11 | R$ 0,11 |
| 1 | Rele Finder 12V 36.11 | R$ 2,00 | R$ 2,00 |
| 4 | Display HDSP-H103 Vm 14.2 | R$ 9,81 | R$ 39,24 |
| 8 | Resistor 820 R | R$ 0,03 | R$ 0,24 |
| 2 | Resistor 1K 1% | R$ 0,09 | R$ 0,18 |
| 1 | Resistor 2K2 | R$ 0,07 | R$ 0,07 |
| 4 | Resistor 22K | R$ 0,06 | R$ 0,24 |
| 1 | Resistor 3K3 1% | R$ 0,06 | R$ 0,06 |
| 1 | Resistor 330 R | R$ 0,02 | R$ 0,02 |
| 1 | Resistor 10K | R$ 0,05 | R$ 0,05 |
| 2 | Conector MKDS 3/3 | R$ 2,84 | R$ 5,68 |
| 4 | Chave Inversor KEB | R$ 0,55 | R$ 2,20 |
| 1 | Soquete SPT 20 | R$ 1,54 | R$ 1,54 |
| 1 | Soquete SPT 10 | R$ 0,77 | R$ 0,77 |
| 1 | Soquete SPT 14 | R$ 1,14 | R$ 1,14 |
| 1 | Soquete SPT 8 | R$ 0,71 | R$ 0,71 |
| 1 | Soquete SPT 4 | R$ 0,37 | R$ 0,37 |
| 1 | Placa de Circuito Impresso | R$ 80,00 | R$ 80,00 |
| 1 | Ferro de Solda Hikari | R$ 22,00 | R$ 22,00 |
| 1 | Placa de Acrílico gravada | R$ 50,00 | R$ 50,00 |
| 1 | Serviço de Torno e Fresa | R$ 25,00 | R$ 25,00 |
| | **TOTAL** | | **R$ 267,87** |

# Referências Bibliográficas

[1] REBELLO JUNIOR, Carlos Jones. **Sistema de Aquisição de Dados Agrometeorológicos Baseado no Microcontrolador *"BASIC Step"*.** Monografia apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras. 2004.

[2] WERNECK, Marcelo Martins. **Transdutores e interfaces**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996. 225 p.

[3] PHILLIPS, Charles L.; HARBOR, Royce D. **Sistemas de controle e realimentação**. Tradução de Luiz Fernando Ricardo. São Paulo: Makron, 1997. 558 p.

[4] SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica**. Tradução de Antonio Carlos Seabra, Marcio Lobo Netto, Sebastião Gomes dos Santos Filho. São Paulo: Makron, 2000. 1270 p. ISBN 85-346-1044-4.

[5] GRUITER, Arthur François de. **Amplificadores operacionais**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Makron, 1988. 251 p.

[6] PERTENCE JR., Antonio. **Amplificadores operacionais e filtros ativos**: teoria, projetos, aplicações e laboratório. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 304 p.

[7] SOUZA, David J. **Desbravando o PIC.** 7ª. Ed. São Paulo: Érica, 2003.

[8] http://www.mikroelektronika.co.yu/portuguese/product/books/picbook. Recuperado em 08/11/2004.

[9] http://hem.passagen.se/communication/870.html. Recuperado em 12/11/2004.

[10] www.national.com/pf/LM/LM358.html. Recuperado em 10/09/2004.

[11] www.allegromicro.com/datafile/2001.pdf. Recuperado em 10/09/2004.

[12] http://www.standardproducts.philips.com/products/hc/pdf/74hc245.pdf. Recuperado 10/09/2004.

# Bibliografia consultada

[1] PATON, Barry E. ***Sensors, transducers & LabView***. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 316 p. (Virtual instruments series).

[2] HELFRICK, Albert D.; & COOPER, William D. ***Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques***. 3rd ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1990.

[3] DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle modernos**. Tradução de Bernardo Severo da Silva Filho. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 659 p.

[4] DISTEFANO, Joseph J.; STUBBERUD, Allen R.; WILLIAMS, Ivan J. **Sistemas de retroação e controle**: com aplicações para engenharia, física e biologia. São Paulo: McGraw-Hill, 1972-1975. 480 p.